«به نام خالق آرامش»

نام کتاب: جهان هارمونیاز (بخش دوم)

نام نویسنده: میچیو کاکو

نام مترجم: سارا ایزدیار، علی هادیان

تعداد صفحات: ۱۱۰ صفحه

تاریخ انتشار: ــــــــــــــــ

کافئین بوکلی
CaffeineBookly.com

@caffeinebookly

caffeinebookly

@caffeinebookly

caffeinebookly

t.me/caffeinebookly

آن سخت است.

فرض کنید که بخواهید مدادی را بر روی نوک آن ایستاده نگه دارید. شیوه تلاش شما به هر شکلی که باشد، اغلب مداد خواهد افتاد. تنظیم و میزان سازی با دقت فوق‌العاده بالایی مورد نیاز است تا مداد چنان متعادل شود که نیفتد. حال تصور کنید که می‌خواهید مداد را طوری روی نوک آن عمودی نگاه دارید که نه فقط برای یک ثانیه بلکه برای سال‌ها همان‌طور بماند! تنظیم دقیق مورد نیاز برای اینکه اُمگا امروز مقداری برابر ۰/۱ داشته باشد، مشابه همین حالت است. کوچک‌ترین خطا در تنظیم دقیق اُمگا باعث می‌شود که اُمگا به‌مقدار زیادی از ۱ فاصله داشته باشد. پس چرا امروز اُمگا اینقدر به یک نزدیک است، درحالی که در اصل از نظر ستاره‌شناسی باید غیر از این باشد؟

از نظر گوث پاسخ کاملاً مشخص بود. تورم جهان چنان شدید بوده که منجر به تخت شدن آن شده است. همانند شخصی که چون افق را نمی‌بیند، نتیجه می‌گیرد که زمین هموار است، ستاره‌شناسان نتیجه گرفتند اُمگا در حدود یک است، زیرا وقوع تورم منجر به تخت شدن جهان شده است.

معمای افق

تورم، نه تنها مسئله تخت بودن جهان را توضیح می‌دهد، بلکه این نظریه، گره دیگری به نام معمای افق را می‌گشاید. معمای افق بر این مفهوم ساده استوار است که از هر طرف که به آسمان شب بنگرید، تصویر نسبتاً یکنواختی را مشاهده خواهید کرد. کافی است سر خود را ۱۸۰ درجه بچرخانید. خواهید دید که جهان از این منظر نیز به همان شکل قبلی است؛ با اینکه شما دو بخش متفاوت از جهان را که ده‌ها میلیارد سال نوری از هم فاصله دارند، جداگانه مشاهده کرده‌اید. حتی تلسکوپ‌های قدرتمندی که از قسمت‌های بزرگی از آسمان تصویربرداری کرده‌اند، نتوانستند انحراف محسوسی از این یکنواختی و همسانی مشاهده کنند. ماهواره‌های فضایی نشان داده‌اند که تابش ریزموج پس‌زمینه نیز به شدت یکنواخت است. به هر طرف که در فضا

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نگاه کنیم، دمای تابش پس‌زمینه بیشتر از یک هزارم درجه تغییرات ندارد.

اما این یک مشکل است. می‌دانیم سرعت نور، حد نهایی سرعت در جهان است. واضح است که در مدت زمان عمر جهان، نور یا اطلاعات از قسمتی به قسمت دیگر آسمان شب سفر کرده‌اند. به‌عنوان مثال، اگر در یک جهت خاص به تابش ریزموج نگاه کنیم، متوجه می‌شویم امواج دریافتی بیش از سیزده میلیارد سال است که از زمان انفجار بزرگ در حرکت اند. اگر سر خود را بچرخانیم و در جهت مخالف نگاه کنیم، این‌بار هم با همان تابش ریزموج که بیش از ۱۳ میلیارد سال در حال حرکت بوده است، مواجه خواهیم شد. از آنجا که هر دو دمای یکسانی دارند، حتماً در آغاز زمان از نظر دما با هم در تماس بوده‌اند. در این‌صورت می‌بایست اطلاعات از نقاط مقابل هم در آسمان شب (که بیش از ۲۶ میلیارد سال نوری از هم فاصله دارند)، از زمان انفجار بزرگ به این سو، مبادله شده باشند.

این وضعیت، در ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ، زمانی که تابش پس‌زمینه برای اولین‌بار شکل گرفت، وخیم‌تر نیز می‌شود. اگر به نقاط مقابل هم، در ۳۸۰,۰۰۰ سال پس از انفجار بزرگ در آسمان نگاه کنیم، می‌بینیم که تابش پس‌زمینه تقریباً یکنواخت است. ولی برطبق محاسبات نظریه انفجار بزرگ، نقاط مقابل هم به اندازه ۹۰ میلیون سال نوری از هم فاصله دارند (به‌دلیل انبساط فضا از زمان انفجار بزرگ) و چاره‌ای نیست جز اینکه نور باید ۹۰ میلیون سال نوری را در عرض تنها ۳۸۰,۰۰۰ سال پیموده باشد. یعنی اطلاعات باید بسیار سریع‌تر از سرعت نور حرکت کرده باشند، که این امر امکان‌پذیر نیست.

به‌این‌ترتیب، وقتی بخش‌های مختلف جهان چنان از یکدیگر دور باشند که نتوانند ارتباط و تماسی با هم برقرار کنند، جهان باید کاملاً غیریکنواخت باشد. چگونه ممکن است جهان تا به این اندازه یکنواخت دیده شود، درحالی‌که نور، زمان لازم برای ترکیب و انتشار اطلاعات را از بخش دوری از جهان به بخش دیگر نداشته باشد؟ (فیزیکدانی به نام رابرت دیک، از پرینستون، این پرسش را معمای افق نامید؛ زیرا افق دورترین جایی است که

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌توانید ببینید، یا به عبارتی دورترین نقطه‌ای است که نور می‌تواند به آن سفر کند.)

گوث دریافت که در این مورد نیز تورم می‌تواند کلیدی برای حل این معما باشد. او بیان کرد جهان مرئی ما احتمالاً قطعه کوچکی در گوی آتشین اولیه بوده است. خود این قطعه، از نظر چگالی و دما یکنواخت بوده است. اما تورم، ناگهان این قطعه کوچک از ماده یکنواخت را با ضریبی برابر، بسیار سریع‌تر از سرعت نور، منبسط کرده است؛ بدین ترتیب جهان مرئی امروزی، به شدت یکنواخت به‌نظر می‌رسد. بنابراین دلیل اینکه چرا آسمان شب و تابش ریزموج تا به این حد یکنواخت هستند، این است که جهان مرئی، زمانی قطعه کوچک ولی یکنواختی از گوی آتشین اولیه بوده است که ناگهان متورم شده و به جهان فعلی تبدیل شده است.

واکنش به تورم

اگرچه گوث به صحت ایده تورم کاملاً اعتقاد داشت، با این‌حال زمانی که برای اولین‌بار شروع به سخنرانی در برابر عموم کرد، کمی ناآرام به‌نظر می‌رسید. در مورد ارائه نظریه خود در سال ۱۹۸۰ چنین گفته است: «هنوز نگران بودم که ممکن است برخی نتایج نظریه اشتباه باشند. به‌علاوه این ترس نیز وجود داشت که به صورت کیهان‌شناسی ناشی جلوه کنم.» اما نظریه او چنان ظریف و قدرتمند بود که فیزیکدانان سراسر جهان به سرعت به اهمیت آن پی بردند. موری ژِلمن، برنده جایزه نوبل اعلام کرد «تو موفق به حل مهم‌ترین معما در علم کیهان‌شناسی شدی!» شِلدون گِلاشو، برنده جایزه نوبل، به گوث گفته بود که استیون واینبِرگ زمانی که موضوع تورم را شنید، بسیار عصبانی شد. گوث مشتاقانه پرسید: «آیا استیو ایرادی هم به آن گرفت؟» گلاشو پاسخ داد: «نه. مسئله این بود که چرا به فکر خودش نرسیده است.» دانشمندان از خود می‌پرسیدند که چگونه متوجه چنین راه حل ساده‌ای نشده‌اند. فیزیکدانان نظری مشتاقانه نظریه گوث را پذیرفتند؛ کسانیکه از گستره چنین نظریه‌ای متحیر گشته بودند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

طرح این نظریه بر دورنمای شغلی گوث نیز تاثیر گذاشت. در بحبوحه دشوار بازارکار، ترس از بیکاری در چهره او نمایان بود. او اعتراف کرده است که «من در وضعیت خطرناکی در بازارکار به سر می‌بردم.» ناگهان پیشنهادهای کاری جدید از طرف دانشگاه‌های برجسته، البته نه از جانب انتخاب اول او یعنی MIT، سرازیر شدند. اما روزی گوث نوشته روی یک بیسکویت شانس را جدی گرفت که می‌گفت، «فرصت هیجان انگیزی درست در مقابل تو قرار دارد؛ اگر زیاد ترسو و خجالتی نباشی.» این نوشته به او قدرت داد تا جسورانه به MIT تلفن کند و درخواست شغل نماید. زمانی که تنها چند روز بعد، از MIT با او تماس گرفتند و به او پیشنهاد کرسی استادی دادند، واقعاً حیرت زده شد. روی بیسکویت شانس بعدی نوشته بود «نباید آنی عمل کنی.» بدون توجه به این توصیه، گوث تصمیم گرفت موقعیت استادی در MIT را بپذیرد. سپس از خود پرسید: «در هر صورت، مگر یک بیسکویت شانس چینی چقدر می‌داند؟»

علی‌رغم همه این‌ها، هنوز مشکلات مهمی وجود داشت. ستاره‌شناسان کم‌تر تحت تاثیر نظریه گوث قرار گرفتند، زیرا این نظریه در مورد یک مسئله ناقص عمل می‌کرد: پیشگویی آن در مورد مقدار اُمگا نادرست بود. تورم می‌توانست این حقیقت را که اُمگا تقریباً نزدیک به یک بود توضیح دهد، اما از این هم فراتر رفته و پیش‌گویی کرد که اُمگا (یا اُمگای به‌علاوه لاندا) باید دقیقاً برابر با ۱/۰ باشد، که بیانگر جهانی کاملاً تخت است. در سال‌های بعد با جمع‌آوری داده‌های تجربی بیشتر و بیشتر مبنی بر وجود مقادیر زیادی ماده تاریک در جهان، مقدار اُمگا اندکی تکان خورد و به ۳/۰ رسید. اما این عدد هنوز هم برای تورم، مخرب و مهلک بود. اگرچه تورم در دهه بعد، انتشار ۳۰۰۰ مقاله در بین فیزیکدانان را باعث شد، اما هنوز هم برای ستاره‌شناسان عجیب بود. از نظر آنان به‌نظر می‌رسید داده‌های موجود، تورم را رد می‌کنند.

برخی ستاره‌شناسان عقیده داشتند که فیزیکدانان ذرات، چنان محو زیبایی تورم شده‌اند که حقایق تجربی را نادیده می‌گیرند. (رابرت کیرشنر، ستاره‌شناس دانشگاه هاروارد نوشته است : «ایده تورم مسخره به‌نظر می‌آید.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

این حقیقت که این نظریه، از جانب آدم‌های صاحب نام جدی گرفته شده، مهر تأیید بر آن نمی‌زند.» راجر پنروز از آکسفورد، تورم را اینگونه تعریف کرد: «لباس مدی که فیزیکدانان پرانرژی، تن کیهان‌شناسان دیده‌اند.... حتی کفتارها هم فکر می‌کنند فرزندان‌شان زیبا هستند»)

گوث عقیده داشت که بالاخره دیر یا زود، داده‌ها نشان خواهند داد که جهان تخت است. اما او از وجود یک نقص کوچک ولی در عین حال وخیم در تورم نگران بود که حتی هنوز هم کاملاً درک نشده است. تورم به خوبی می‌توانست به برخی از معماهای عمیق کیهان‌شناسی پاسخ دهد. اما مشکل این بود که او نمی‌دانست چگونه باید تورم را متوقف کرد.

فرض کنید آب درون یک کتری تا نزدیکی دمای جوش داغ شود. درست قبل از اینکه آب به جوش آید، به‌طور لحظه‌ای در حالت پرانرژی قرار می‌گیرد. آب در این وضعیت برای بجوش آمدن نیاز به کمی ناخالصی دارد. ولی همین که آب به جوش آمده و حباب‌ها بر روی سطح آب آشکار شوند، سریعاً به حالت انرژی پایین‌تر، یعنی خلأ حقیقی، وارد می‌شود و کتری از حباب پر می‌شود. سرانجام حباب‌ها چنان بزرگ می‌شوند که با هم یکی شده و کتری به‌طور یکنواخت پر از بخار می‌شود. وقتی تمام حباب‌ها ادغام می‌شوند، تغییر حالت از آب به بخار به‌طور کامل صورت گرفته است.

در تصویری که گوث ترسیم کرد، هر حباب بیانگر قطعه‌ای از جهان ماست که از درون خلأ به بیرون آمده و متورم شده است. ولی زمانی که گوث این محاسبات را انجام داد، دریافت که حباب‌ها به‌درستی با هم ادغام نمی‌شوند و بنابراین جهان بسیار ناهنجار است. به عبارت دیگر، نظریه او یک کتری پر از حباب‌های بخار را نشان می‌داد که هیچ‌گاه به یک کتری یکنواخت پر از بخار تبدیل نمی‌شود. به‌نظر می‌رسید مخزن آب جوش گوث نمی‌توانست به جهان امروزی ختم شود.

در سال ۱۹۸۱، آندری لیند، از انستیتوی لِبدوف در روسیه، به‌همراه پُل جِی اِستِینهارت و آندریاس آلبرخت که در آن زمان در دانشگاه پنسیلوانیا بودند، راه حلی برای این معما یافتند. آن‌ها دریافتند که اگر یک حباب از خلأ

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کاذب به مدت زمان کافی متورم شود، سرانجام کل کتری را پر کرده و جهان یکنواختی را ایجاد خواهد کرد. به بیان دیگر، کل جهان ما می‌تواند نتیجه فرعی تورم یک تک حباب بوده که پس از تورم کل جهان را پر کرده است. به‌این‌ترتیب، برای ساختن کتری یکنواختی از بخار، نیازی به تعداد زیادی حباب نیست. تنها یک تک حباب، اگر به مدت زمان کافی متورم شود، می‌تواند این‌کار را انجام دهد.

مجدداً سد آب و خلأ کاذب را درنظر بگیرید. هرچه سد ضخیم‌تر باشد، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا آب بتواند به دیواره سد نفوذ کرده و از درون آن تونل بزند. اگر دیواره سد به اندازه کافی ضخیم باشد، آنگاه تونل زنی خودبه‌خودی، به تعویق خواهد افتاد. اگر جهان بتواند با ضریب $۱۰^{۵۰}$ متورم شود، آنگاه یک تک حباب، زمان کافی خواهد داشت تا بتواند به هر سه معمای افق، تک قطبی و تخت بودن پاسخ دهد. به بیان دیگر اگر تونل زنی به اندازه کافی به تعویق افتد، جهان آنقدر متورم خواهد شد که نتیجه آن، به‌وجود آمدن جهانی تخت و رقیق شدن تک قطبی‌ها در جهان خواهد بود. ولی هنوز یک سوآل باقی است: چه مکانیزمی قادر است تورم را تا به این حد به تعویق اندازد

سرانجام، این معمای پیچیده به «مشکل خروج مطبوع» معروف شد، به این معنی که چگونه می‌توان جهان را تا این اندازه طولانی متورم کرد، تا یک تک حباب بتواند فرصت ایجاد کل جهان را بیابد. در طول سال‌ها، حداقل پنجاه مکانیزم متفاوت برای حل این مشکل ارائه شدند. (این مسئله بسیار مشکل است. من خود روش‌های متفاوتی را برای آن آزموده‌ام. ایجاد مقدار کمی تورم در جهان اولیه کار نسبتاً ساده‌ای بود، اما چیزی که مشکل است وادارکردن جهان به تورم با ضزیب $۱۰^{۵۰}$ است. البته می‌توان این ضریب $۱۰^{۵۰}$ را به صورت دستی وارد کرد، ولی کاملاً مشخص است که مصنوعی و ساختگی است.) به بیان دیگر، درست است که فرایند تورم به‌طور گسترده‌ای معماهای تک قطبی، افق، و تخت بودن را حل می‌کرد، ولی هیچ کس دقیقاً نمی‌دانست که چه عاملی باعث ایجاد تورم و در نهایت توقف آن شده است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

تورم آشفته و جهان‌های موازی

این موضوع که برای حل مشکل خروج مطبوع، هیچ توافقی بر روی روشی خاص وجود نداشت، آندرِی لیند را آشفته نکرد. لیند اقرار کرده است، «احساس من این بود که غیرممکن است خدا از چنین امکان خوبی برای ساده کردن کار خود استفاده نکرده باشد.»

در نهایت، لیند نسخه جدیدی از نظریه تورم را ارائه کرد که به‌نظر می‌رسید برخی از اشکالات نسخه‌های قبلی را در خود نداشته باشد. او جهانی را به تصویر کشید که در آن، در نقاط تصادفی در فضا و زمان، شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد. در هر نقطه‌ای که شکستی رخ می‌دهد، جهانی ایجاد می‌شود که کمی متورم می‌گردد. در اغلب موارد، مقدار تورم کم است. اما از آنجا که این فرایند تصادفی است، در نهایت حتماً حبابی وجود خواهد داشت که در آن تورم به اندازه کافی طولانی می‌شود، تا بتواند جهان ما را ایجاد کند. با استناد به نتایج منطقی چنین ادعایی می‌توان گفت تورم، دائمی و ابدی بوده و انفجار بزرگ همواره در حال رخ‌دادن است. بنابراین همواره جهان‌های‌جدیدی از درون دیگر جهان‌ها جوانه می‌زنند. در این تصویر ارائه شده، جهان‌ها می‌توانند از درون جهان‌های دیگر جوانه زده و در نتیجه جهان‌های چندگانه را بسازند.

در این نظریه، شکست‌های خودبه‌خودی ممکن است در هرکجای جهان ما رخ دهند و بنابراین ممکن است که جهان کاملی از درون جهان ما جوانه بزند. حتی خود جهان ما نیز ممکن است از درون جهان قبلی جوانه زده باشد. در مدل تورمی آشفته، وجود جهان‌های چندگانه دائمی و ابدی است؛ حتی اگر تک تک جهان‌ها دائمی و ابدی‌نباشند. برخی جهان‌ها ممکن است اُمگای بزرگی داشته باشند که در این حالت سریعاً پس از رخ‌دادن انفجار بزرگ درون یک فروپاشی بزرگ از بین می‌روند. برخی جهان‌ها اُمگای کوچکی دارند و برای همیشه منبسط می‌شوند. بنابراین جهان‌های چندگانه را جهان‌هایی می‌سازند که به مقدار زیاد متورم می‌شوند.

در نگاه به گذشته، در می‌یابیم که ایده جهان‌های موازی همواره بر ما

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

تحمیل شده است. در حقیقت می‌توان گفت تورم به نوعی ادغام کیهان‌شناسی مرسوم با پیشرفت‌های اخیر فیزیک ذرات است. فیزیک ذرات، به‌عنوان یک نظریه کوانتومی بیان می‌کند که احتمال محدود و مشخصی برای وقوع رخدادهای غیرمحتمل وجود دارد؛ درست مثل ایجاد جهان‌های موازی. بنابراین به محض اینکه ما احتمال پیدایش یک جهان را بپذیریم، با این‌کار در را به روی امکان پیدایش بی‌نهایت جهان موازی گشوده‌ایم. به‌عنوان مثال، چگونگی توصیف الکترون را در نظریه کوانتوم در نظر بگیرید. به‌دلیل اصل عدم قطعیت، الکترون نمی‌تواند در هیچ نقطه مشخصی وجود داشته باشد، اما می‌توان گفت در تمام نقاط محتمل دور هسته وجود دارد. این ابر الکترونی که هسته را احاطه می‌کند، بیانگر حضور الکترون در مکان‌های متعددی در یک زمان است. این مسئله، اصل اساسی علم شیمی محسوب می‌شود که به الکترون‌ها امکان می‌دهد تا مولکول‌ها را به یکدیگر پیوند دهند. دلیل اینکه چرا مولکول‌ها از هم پاشیده نمی‌شوند، این است که الکترون‌های موازی در اطراف آن‌ها می‌چرخند و آن‌ها را در کنار یکدیگر نگاه می‌دارند. به‌همین ترتیب، جهان روزی کوچک‌تر از یک الکترون بوده است. زمانی که نظریه کوانتوم را در مورد جهان نیز اعمال کنیم، ناچاریم بپذیریم این احتمال وجود دارد که جهان به‌طور هم‌زمان در حالت‌های متعددی وجود داشته باشد. به بیان دیگر، وقتی اعمال تغییرات کوانتومی به جهان را بپذیریم، ناچار مجبور خواهیم شد امکان وجود جهان‌های موازی را نیز بپذیریم. به‌نظر می‌رسد چاره دیگری نداریم.

جهانی برخاسته از هیچ

ممکن است در نگاه اول با نظریه جهان‌های چندگانه مخالفت کنیم، زیرا به‌نظر می‌رسد این نظریه قوانین شناخته شده‌ای مثل قانون بقای ماده و انرژی را به‌هم می‌ریزد. در واقع، مجموع کل ماده به‌علاوه انرژی در جهان احتمالا خیلی کوچک است. درست است که مقدار ماده موجود در جهان شامل تمام ستارگان، سیارات و کهکشان‌ها مقداری مثبت و بزرگ است، با این‌حال

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

انرژی ذخیره شده در گرانش، ممکن است منفی باشد. اگر انرژی مثبت ماده را با انرژی منفی گرانش جمع کنیم، نتیجه عددی نزدیک به صفر خواهد بود! از بعضی جهات می‌توان گفت چنین جهان‌هایی آزاد هستند. آن‌ها می‌توانند از درون خلأ، تقریباً بدون هیچ تلاشی، بیرون بجهند. (اگر کیهان بسته باشد، مقدار انرژی کل آن باید دقیقاً برابر صفر باشد.)

(برای درک بهتر این موضوع، الاغی را در نظر بگیرید که به چاله بزرگی افتاده است. باید به الاغ انرژی کمکی بدهیم تا از چاله بیرون بیاید. فرض کنیم وقتی الاغ بیرون از چاله روی زمین ایستاده، انرژی صفر داشته باشد. بنابراین به‌دلیل اینکه مجبور شدیم به الاغ انرژی کمکی بدهیم تا او را به حالت انرژی صفر برسانیم، می‌توان گفت الاغ در چاله دارای‌مقدار معینی انرژی منفی است. همین‌طور برای خارج کردن سیاره‌ای از درون یک منظومه ستاره‌ای، مجبوریم به آن انرژی بدهیم. وقتی سیاره در فضای آزاد خارج از منظومه قرار دارد، انرژی صفر خواهد داشت. چون مجبور شدیم به سیاره انرژی بدهیم تا آن را از درون یک سیستم خورشیدی بیرون بیاوریم تا به انرژی صفر دست یابد، بنابراین سیاره هنگام حضور در سیستم خورشیدی دارای انرژی منفی بوده است.)

در حقیقت، برای ایجاد جهانی شبیه آنچه که ما درون آن هستیم، ممکن است به‌مقدار واقعاً کمی ماده، شاید به اندازه چند گرم نیاز داشته باشیم. آن‌طور که گوث می‌گوید، «جهان شاید یک نهار مجانی باشد.» ایدهٔ ایجاد جهان از هیچ، اولین‌بار در سال ۱۹۷۳، طی مقاله‌ای در مجله نیچر، توسط ادوارد ترایون، از کالج هانتِر دانشگاه سیتی شهر نیویورک مطرح شد. او تصور کرد که جهان چیزی است که به‌دلیل یک تحول کوانتومی در خلأ، «هرچند وقت یکبار رخ می‌دهد.» (اگرچه مقدار ماده خالص لازم برای‌ایجاد یک جهان ممکن است نزدیک به صفر باشد، این ماده همان‌طور که در فصل ۱۲ خواهیم دید باید تا حد چگالی‌های غیر قابل تصور، فشرده شود.)

همانند افسانه پَن کو، این مثالی است از کیهان‌شناسی وجود از عدم. اگرچه نظریه جهان برخاسته از هیچ را نمی‌توان با روش‌های مرسوم ثابت کرد، اما این نظریه در پاسخ به بسیاری از سوآلات کاربردی در مورد جهان کمک

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌کند. به‌عنوان مثال، چرا جهان فرفره‌وار به دور خود نمی‌چرخد؟ تمام چیزهایی که در اطراف خود می‌بینیم در حال چرخش‌اند، از توفان‌ها، سیارات و کهکشان‌ها گرفته تا اختروش‌ها. به‌نظر می‌رسد این ویژگی عمومی ماده در جهان باشد. اما چرا خود جهان نمی‌چرخد؟ وقتی در آسمان به کهکشان‌ها نگاه می‌کنیم، مجموع چرخش آن‌ها صفر است. (این کاملاً خوش شانسی ما است، زیرا همان‌طور که در فصل ۵ خواهیم دید، اگر جهان می‌چرخید آن وقت سفر در زمان عادی شده و بنابراین نوشتن تاریخ غیرممکن بود.) دلیل اینکه چرا جهان ما نمی‌چرخد، می‌تواند این باشد که جهان ما از هیچ به‌وجود آمده است. از آنجا که خلأ نمی‌چرخد، انتظار نداریم که هیچ چرخش خالصی در جهان ما به‌وجود آید. در حقیقت تمام جهان‌های حبابی درون جهان چندگانه، چرخش خالصی برابر صفر دارند.

چرا بارهای الکتریکی مثبت و منفی دقیقاً با هم برابرند و یکدیگر را خنثی می‌کنند؟ به‌طور معمول زمانی که به نیروهای کیهانی حاکم بر جهان می‌اندیشیم، بیشتر به گرانش فکر می‌کنیم تا نیروی الکترومغناطیسی؛ حتی اگر نیروی گرانش در مقایسه با نیروی الکترومغناطیسی بسیار کوچک باشد. دلیل این امر تعادل کامل و دقیق بین بارهای مثبت و منفی است. در نتیجه به‌نظر می‌آید بار الکتریکی خالص جهان صفر بوده و این گرانش است که جهان را احاطه کرده و نه نیروی الکترومغناطیسی.

اگرچه این مسئله بسیار بدیهی به‌نظر می‌رسد، اما در اصل خنثی‌سازی بارهای مثبت و منفی کاملاً جالب توجه است و از نظر آزمایشگاهی با دقت ۱ در 10^{21} مورد آزمایش واقع شده است. (البته واضح است که عدم تعادل بین بارهای الکتریکی به‌طور محلی وجود دارد و به‌همین دلیل است که رعد و برق به‌وجود می‌آید. اما تعداد کلی بارها، حتی برای توفان‌های رعدآسا، برابر با صفر است.) اگر درون بدن شما، تنها ۰/۰۰۰۰۱ درصد تفاوت در بارهای خالص الکتریکی مثبت و منفی وجود داشته باشد، آناً از هم پاشیده می‌شوید و اجزای بدن شما، به‌وسیله نیروی الکتریکی به خارج پرتاب می‌شوند.

جواب این معمای قدیمی ممکن است این باشد که جهان از هیچ درست

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

شده است. از آنجا که مقدار چرخش و بار خالص خلأ برابر صفر است، هر جهان کودکی که از هیچ بیرون می‌جهد نیز باید چرخش و بار الکتریکی خالصی برابر صفر داشته باشد.

استثنای آشکاری برای این قانون وجود دارد: جهان بیشتر از ماده تشکیل شده است تا ضد ماده. از آنجا که ماده و ضد ماده مخالف هم هستند (با بار الکتریکی مخالف)، ممکن است تصور کنیم که انفجار بزرگ مقادیر برابری ماده و ضد ماده ایجاد کرده باشد. مشکل این است که ماده و ضد ماده در برخورد با هم، یکدیگر را از بین می‌برند و انفجاری از پرتوهای گاما ایجاد می‌کنند. بنابراین ما نمی‌بایست وجود داشته باشیم.

در این‌صورت، جهان به‌جای اینکه از ماده معمولی پر شده باشد، باید مجموعه تصادفی از پرتوهای گاما باشد. اگر انفجار بزرگ کاملاً متقارن بود (یا از هیچ برمی‌خواست)، آنگاه ما باید انتظار شکل‌گیری مقادیر یکسانی ماده و ضدماده را داشته باشیم. پس چرا ما وجود داریم؟ پاسخی که به‌وسیله فیزیکدان روسی، آندره‌ی ساخاروف ارائه شد این است که انفجار بزرگ اولیه، به‌هیچ‌وجه کاملاً متقارن نبوده است. درست در لحظه پیدایش، مقدار کمی شکست تقارن بین ماده و ضدماده وجود داشته که باعث شده ماده بر ضد ماده غلبه کند و در نتیجه جهان اطراف به‌وجود آید. (تقارنی که در انفجار بزرگ شکسته شده، تقارن CP نامیده می‌شود؛ تقارنی که براساس آن، بار و زوجیت ذرات ماده و ضدماده جابجا می‌شوند.) اگر جهان از هیچ به‌وجود آمده باشد، آنوقت شاید بتوان گفت خلأ کاملاً خالی نیست، بلکه مقدار بسیار کمی شکست تقارن دارد که باعث غلبه ماده به ضد ماده شده است. منشاء این شکست تقارن، هنوز مشخص نیست.

جهان‌های دیگر چه شکلی دارند؟

ایده جهان‌های چندگانه جذاب است زیرا تنها کافی است فرض کنیم شکست‌های خودبه‌خودی، به صورت تصادفی رخ می‌دهند. نیاز به هیچ فرض دیگری نیست. هر بار که جهانی، از درون جهان دیگری جوانه می‌زند،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ثوابت فیزیکی با اصل خود فرق خواهند کرد و بدین ترتیب قوانین جدید فیزیکی ایجاد می‌شوند. اگر این درست باشد، درون هر جهانی می‌تواند جهان کاملاً جدیدی پدیدار شود. ولی اینجا سوآل جالبی مطرح می‌شود: این جهان‌های دیگر، چه شکلی هستند؟ کلید فهمیدن فیزیک جهان‌های‌موازی، فهمیدن این موضوع است که چگونه این جهان‌ها ایجاد می‌شوند، یا به عبارتی فهمیدن دقیق اینکه چگونه شکست‌های خودبه‌خودی رخ می‌دهند.

زمانی که جهانی زاده می‌شود و شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد، تقارن نظریه اصلی نیز درهم می‌شکند. از نظر یک فیزیکدان، زیبایی یعنی تقارن و سادگی. اگر یک نظریه زیبا باشد، به این معنی است که تقارن نیرومندی دارد که می‌تواند مقدار زیادی داده را به خلاصه‌ترین روش توضیح دهد. به بیان بهتر، یک معادله زمانی زیبا فرض می‌شود که وقتی جای اجزایش را با یکدیگر تعویض کنیم، به همان شکل باقی بماند. یکی از فوائد مهم کشف تقارن‌های مخفی طبیعت این است که می‌توانیم نشان دهیم که پدیده‌هایی که مجزا به‌نظر می‌رسند، در حقیقت جلوه‌های مختلف از یک چیز هستند که از طریق تقارن به‌هم پیوند خورده‌اند. به‌عنوان مثال، می‌توان نشان داد که الکتریسیته و مغناطیس در حقیقت دو وجه از یک چیز هستند زیرا تقارنی وجود دارد که امکان جابجایی آن‌ها را در معادلات مکسول فراهم می‌آورد. به‌طور مشابه، اینشتین نشان داد که نسبیت می‌تواند فضا را به زمان تبدیل کند و برعکس، زیرا آن‌ها هردو بخشی از یک چیز هستند، کالبد فضا-زمان.

دانه برفی را در نظر بگیرید که تقارنی زیبا و شش وجهی دارد. زیبایی آن در این است که اگر این دانه برف را ۶۰ درجه بچرخانیم به همان شکل اول خواهد بود. یعنی هر معادله‌ای که برای توصیف دانه برف می‌نویسیم، با چرخشی برابر با ضرائب ۶۰ درجه، باید بدون تغییر باقی بماند. از نظر ریاضی، می‌گوییم که دانه برف دارای‌تقارن است.

بنابراین تقارن‌ها زیبایی نهفته طبیعت را رمزگذاری می‌کنند. اما در دنیای واقعی، امروزه این تقارن‌ها به شدت شکسته شده‌اند. چهار نیروی عظیم جهان، به‌هیچ‌وجه شبیه به‌هم نیستند. در حقیقت جهان پر از بی‌نظمی‌ها و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نقص‌هاست؛ اطراف ما باقی‌مانده‌ها و خرده‌ریزهایی از تقارن اصلی نخستین وجود دارد که از انفجار بزرگ ناشی شده‌اند. بنابراین کلید درک مفهوم محتمل جهان‌های موازی، فهم «شکست تقارن» است، به این معنی که چگونه ممکن است این تقارن‌ها پس از انفجار بزرگ شکسته شده باشند. آن‌طور که فیزیکدانی به نام دیوید گِراس گفته است، «با اینکه راز طبیعت، تقارن آن است، ولی آنچه امروزه از بافت و ترکیب فعلی جهان می‌بینیم، همه از شکست تقارن ناشی شده‌اند.»

به این فکر کنید که چگونه یک آئینه زیبا به هزاران قطعه شکسته می‌شود. آینه اصلی دارای تقارن بزرگی است. آئینه را می‌توان با هر زاویه دلخواه چرخاند، با این حال، هنوز هم به همان روش نور را منعکس کند. اما پس از اینکه قطعه قطعه شد، تقارن اصلی به‌هم می‌ریزد. تعیین دقیق اینکه تقارن چگونه به‌هم ریخته است، تعیین می‌کند که آئینه چگونه شکسته است.

شکست تقارن

مراحل رشد یک جنین را درنظر بگیرید. در مراحل اولیه، درست چند روز پس از لقاح، جنین به صورت کره کاملی از سلول‌هاست. سلول‌ها تفاوتی با هم ندارند. از هر طرف که کره را بچرخانیم، به یک شکل دیده می‌شود. فیزیکدانان عقیده دارند که جنین در این مرحله دارای تقارن است، یعنی آن را حول هر محوری بچرخانیم، یکسان باقی می‌ماند.

گرچه در این مرحله جنین زیبا و ظریف است، ولی تقریباً بلااستفاده است. یک کره کامل، نمی‌تواند کار مفیدی انجام دهد یا با محیط برهم‌کنش داشته باشد. به‌هرحال با گذشت زمان، جنین این تقارن را برهم زده، سپر و پیکره کوچکی می‌سازد؛ شبیه به چوب بولینگ. اگرچه تقارن کروی اولیه، در هم می‌ریزد، اما جنین هنوز دارای تقارن است؛ اگر آن را دور محور خود بچرخانیم، شکل آن تغییر نخواهد کرد. بنابراین در این مرحله دارای تقارن استوانه‌ای است. از نظر ریاضی می‌گوییم که تقارن اصلی کره، هم‌اکنون به تقارن استوانه شکسته شده است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اگرچه به‌هم ریختن تقارن، می‌توانست به روش دیگری رخ دهد. به‌عنوان مثال، ستاره دریایی تقارن استوانه‌ای یا دوطرفه ندارد؛ در عوض، زمانی که تقارن کروی آن شکسته می‌شود، تقارن پیدا می‌کند (که تحت چرخش ۷۲ درجه تغییر نمی‌کند)، که به آن شکل ستاره پنج پر می‌دهد. بنابراین روشی که تقارن شکسته می‌شود، شکل اندام‌ها را حین تولد تعیین می‌کند.

به‌طور مشابه دانشمندان عقیده دارند که جهان در حالتی از تقارن کامل آغاز شده است، و تمام نیروها به یک نیرو منتج می‌شده‌اند. جهان در آن زمان، زیبا و متقارن ولی تا حدودی بی‌استفاده بوده است. همان‌طور که می‌دانیم، حیات در این وضعیت بی‌عیب و نقص نمی‌توانست وجود داشته باشد. برای اینکه امکان حیات به‌وجود آید، با خنک شدن جهان، تقارن باید شکسته شود.

تقارن و مدل استاندارد

به‌همین روش، برای فهمیدن اینکه جهان‌های موازی چه شکل‌هایی دارند، ابتدا باید تقارن برهم‌کنش‌های ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی را بدانیم. به‌عنوان مثال نیروی قوی، از سه کوارک تشکیل شده است که دانشمندان آن‌ها را با سه رنگ قراردادی (مثلاً قرمز، سفید و آبی) نام‌گذاری کرده‌اند. هدف این است که با معاوضه این سه کوارک رنگی، معادلات تغییر نکنند. می‌گوییم که این معادلات دارای تقارن $SU(3)$ هستند؛ به این معنی که با معاوضه این سه کوارک، معادلات همان‌طور باقی می‌مانند. دانشمندان عقیده دارند که یک نظریه، با تقارن $SU(3)$، دقیق‌ترین توصیف از برهم‌کنش‌های قوی (به نام کرومودینامیک کوانتومی) را شکل می‌دهد. اگر آبررایانه غول‌پیکری داشته باشیم، تنها با داشتن جرم کوارک‌ها و توانایی برهم‌کنش آن‌ها، می‌توانیم به‌طور نظری تمام مشخصات پروتون و نوترون و تمام مشخصات فیزیک هسته‌ای را محاسبه کنیم.

به‌طور مشابه فرض کنید دو لپتون داریم؛ الکترون و نوترینو. اگر بتوانیم آن‌ها را در یک معادله با هم تعویض کنیم، تقارن $SU(3)$ خواهیم داشت. در

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مورد نور، گروه تقارن $U(1)$ است. (این گروه، اجزاء یا پولاریزاسیون‌های مختلف نور را با یکدیگر جابجا می‌کند.) بنابراین گروه تقارن برهم‌کنش‌های الکترومغناطیسی و ضعیف، برابر است با $SU(2) \times U(1)$.

اگر ما این سه نظریه را به‌هم پیوند دهیم، عجیب نخواهد بود که تقارن $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ حاصل شود: تقارنی که سه کوارک و دو لپتون را در خود، جداگانه ترکیب می‌کند (ولی کوارک‌ها را با لپتون‌ها مخلوط نمی‌کند). نظریه به‌دست آمده، مدل استاندارد است و همان‌طور که قبلاً دیدیم، شاید یکی از موفق‌ترین نظریه‌ها در طول تاریخ باشد. آن‌طور «که گوردون کین از دانشگاه میشیگان می‌گوید: «هر چیزی که در دنیای ما رخ می‌دهد (به جز آنچه به گرانش مربوط می‌شود)، از برهم‌کنش ذرات مدل استاندارد ناشی می‌شود.» برخی از پیشگویی‌های آن در آزمایشگاه با دقت یک در صدمیلیون مورد آزمایش قرار گرفته است. (در حقیقت تاکنون بیست جایزه نوبل به فیزیکدانانی اعطا شده که بخش‌های مختلف مدل استاندارد را به‌هم متصل کرده‌اند.)

سرانجام می‌توان نظریه‌ای بنا کرد که برهم‌کنش‌های قوی، ضعیف، و الکترومغناطیسی را در یک تقارن ترکیب کند. در ساده‌ترین نظریه گات که این‌کار انجام می‌شود، امکان معاوضه تمام پنج ذره (سه کوارک و دو لپتون) به‌طور هم‌زمان وجود دارد. برخلاف تقارن مدل استاندارد، تقارن گات می‌تواند کوارک‌ها و لپتون‌ها را با هم ترکیب کند (به این معنی که پروتون‌ها می‌توانند به الکترون تبدیل شوند). به بیان دیگر نظریه‌های گات، شامل تقارن $SU(5)$ هستند (امکان جابجایی تمام پنج ذره، سه کوارک و دو لپتون بین یکدیگر). در طول سال‌ها، گروه‌های تقارن متعدد دیگری مورد بررسی قرار گرفتند، اما شاید حداقل گروهی باشد که با داده‌های ما جور در می‌آید.

زمانی که شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد، تقارن اصلی نظریه گات، می‌تواند به روش‌های متعددی به‌هم ریخته شود. در یک روش، تقارن گات به $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ شکسته می‌شود؛ با دقیقاً ۱۹ پارامتر آزاد که برای توصیف جهان به آن‌ها نیاز داریم. با استفاده از این روش، دنیایی که ما

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌شناسیم حاصل می‌شود. با این‌حال در واقع روش‌های بسیاری برای شکستن تقارن وجود دارد. به احتمال زیاد جهان‌های دیگر تقارن کاملاً متفاوتی دارند. حداقل این است که این جهان‌های موازی ممکن است مقادیر مختلفی برای‌این ۱۹ پارامتر داشته باشند. به بیان دیگر، قدرت نیروها در جهان‌های مختلف متفاوت است که منجر به تغییرات وسیعی در ساختار جهان‌ها خواهد شد. به‌عنوان مثال، با تضعیف قدرت نیروی هسته‌ای، می‌توان از شکل‌گیری ستارگان جلوگیری کرد. درنتیجه جهان در تاریکی ابدی بوده و حیات در آن غیرممکن می‌شود. اگر نیروی هسته‌ای بیش از حد قدرتمند شود، ستارگان سوخت هسته‌ای خود را چنان سریع می‌سوزانند که حیات، زمان کافی برای شکل‌گیری پیدا نخواهد کرد.

گروه تقارن نیز می‌تواند تغییر کند، که در نتیجه یک جهان کاملاً متفاوت از ذرات پدید می‌آید. در برخی از این جهان‌ها، ممکن است پروتون‌ها پایدار نبوده و به‌سرعت به آنتی‌الکترون تنزل کنند. چنین جهان‌هایی همان‌طور که می‌دانیم نمی‌توانند شامل حیات باشند و به‌سرعت به غبار بی‌جانی از الکترون‌ها و نوترینوها تجزیه می‌شوند. جهان‌های دیگری می‌توانند وجود داشته باشند که در آن‌ها تقارن گات به روش‌های باز هم متفاوتی شکسته و در نتیجه ذرات پایدار شبه پروتون بیشتری به‌وجود آیند. در چنین جهانی، تنوع عظیمی از مواد شیمیایی عجیب وجود خواهد داشت. زندگی در چنین جهان‌هایی بسیار پیچیده‌تر از جهان ما خواهد بود؛ آن‌ها دارای عناصر شیمیایی بیشتری خواهند بود که از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی شبه DNA بیشتری ساخت.

همچنین می‌توانیم تقارن اصلی گات را به‌گونه‌ای بشکنیم که بیش از یک تقارن $U(1)$ داشته باشیم. بنابراین در چنین جهانی چند نوع نور وجود خواهد داشت. واقعاً دنیای عجیبی خواهد بود که در آن، موجودات نه فقط با استفاده از یک نوع بلکه چندین نوع نیرو، عمل دیدن را انجام می‌دهند. در چنین جهانی، چشمان موجودات زنده برای آشکارسازی اشکال متنوع تابش‌های نوری، باید گیرنده‌های متنوعی داشته باشند.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

جای تعجب نیست که صدها و شاید بی‌نهایت روش برای شکستن این تقارن وجود دارد. هرکدام از این روش‌ها، به نوبه خود می‌توانند به جهان کاملاً متفاوتی منجر شوند.

پیش‌بینی‌های قابل آزمایش

متأسفانه، در حال حاضر امکان آزمودن نظریه جهان‌های چندگانه، یعنی جهان‌های متعدد با مجموعه متفاوتی از قوانین فیزیکی، غیرممکن است. برای دسترسی به این جهان‌ها، باید بتوان با سرعتی بیشتر از سرعت نور حرکت کرد. اما یکی از فوائد نظریه تورم این است که پیش‌بینی‌های آن در مورد طبیعت کیهان ما، قابل آزمایش هستند.

از آنجا که نظریه تورم یک نظریه کوانتومی است، براساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ یعنی اساس نظریه کوانتوم، عمل می‌کند. (اصل عدم قطعیت بیان می‌دارد که نمی‌توان با دقت بی‌نهایت، اندازه‌گیری انجام داد؛ مثل اندازه‌گیری سرعت و موقعیت یک الکترون. مهم نیست که تجهیزات شما چقدر حساس باشند، همیشه عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها وجود خواهد داشت. اگر سرعت یک الکترون را بدانید، نمی‌توانید مکان دقیق آن را بدانید؛ و اگر مکان آن را بدانید نمی‌توانید سرعت آن را بدانید.) اگر این مسئله را به گوی آتشین ابتدایی که منشاء انفجار بزرگ بوده است اعمال کنیم خواهیم دید که انفجار کیهانی اصلی باید «افت و خیز» کوانتومی داشته باشد. (اگر کاملاً بدون افت و خیز بود، آنوقت به دقت می‌توانستیم خط سیر ذرات زیراتمی منتشر شده از انفجار بزرگ را تعیین کنیم که با اصل عدم قطعیت در تناقض است.) نظریه کوانتوم، ما را قادر می‌سازد تا اندازه این افت و خیزها در گوی آتشین اولیه را محاسبه کنیم. با اعمال تورم به این افت و خیزهای کوچک کوانتومی، می‌توان مقدار کمینه افت خیزهایی را که باید ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ مشاهده شود، محاسبه کرد. (و اگر ما این افت و خیزها را تا امروز دنبال کنیم، باید به توزیع خوشه‌های کهکشانی برسیم. کهکشان ما، خود در یکی از این افت و خیزهای کوچک ایجاد شده است.)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

با نگاهی اجمالی به داده‌های ماهواره COBE، در ابتدا هیچ انحراف یا تحولی در تابش پس‌زمینه ریزموج مشاهده نشد که این مسئله در بین فیزیکدانان ایجاد نگرانی کرد، زیرا عدم افت و خیز در تابش پس‌زمینه ریزموج، نه فقط تورم بلکه اصل عدم قطعیت و در نتیجه کل نظریه کوانتوم را به‌هم می‌ریخت و همچنین پایه فیزیک را تا سطوح بنیادی آن تکان می‌داد. بنابراین کل فیزیک کوانتوم قرن بیستم، باید دور ریخته می‌شد.

با نگاهی دقیق‌تر به داده‌های رایانه‌ای ماهواره COBE، مجموعه نامشخصی از تحولات و افت و خیزها یافت شدند؛ تغییرات دمایی یک در ۱۰۰,۰۰۰، یعنی حداقل مقدار افت و خیزی که نظریه کوانتوم می‌تواند تحمل کند. این افت و خیزهای بی‌نهایت کوچک، با نظریه تورم سازگار بودند. گوث اعتراف می‌کند «من کاملاً فریب تابش پس‌زمینه کیهانی را خوردم. تابش آنقدر ضعیف بود که حتی تا سال ۱۹۶۵ آشکار نشد و اکنون آن‌ها قادرند افت و خیزهایی با دقت یک در صدهزار را اندازه‌گیری کنند.»

اگرچه شواهد تجربی جمع‌آوری شده، به تدریج با تورم همراهی می‌کردند، دانشمندان هنوز مجبور بودند مشکل مقدار اُمگا را حل کنند؛ این حقیقت که مقدار اُمگا به‌جای یک، عدد ۰/۳ بود.

ابرنواخترها ــ بازگشت لاندا

با اینکه داده‌های دریافتی از ماهواره COBE با تورم سازگار بودند، ستاره‌شناسان هنوز در دهه ۱۹۹۰ از این مسئله که تورم با داده‌های تجربی مربوط به اُمگا در تناقض آشکار بود، ناراضی بودند. این جریان اولین‌بار در سال ۱۹۹۸، با استفاده از داده‌ای که از یک منبع کاملاً غیرمنتظره به‌دست آمد، تغییر کرد. ستاره‌شناسان یکبار دیگر تلاش کردند تا سرعت انبساط جهان را در گذشته دور محاسبه کنند. به‌جای بررسی متغیرهای قیفاووسی که هابل در دهه ۱۹۲۰ انجام داده بود، آن‌ها به آزمایش بر روی ابرنواخترانی پرداختند که در کهکشان‌های دوردست، میلیاردها سال نوری دورتر، در گذشته کیهان قرار داشتند. آن‌ها به‌طور خاص ابرنواخترهای نوع یک A را

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

مورد بررسی قرار دادند. از این نوع ابرنواخترها می‌توان به‌طور ایده‌آل، به‌عنوان شمع‌های استاندارد استفاده کرد.

ستاره‌شناسان می‌دانستند که ابرنواخترهایی از این نوع، تقریباً درخشندگی یکسان دارند. (شدت روشنایی ابرنواخترهای نوع یک A با چنان دقتی مشخص شده است که حتی انحرافات کوچک را نیز می‌توان درجه‌بندی کرد: هرچه ابرنواختر درخشنده‌تر باشد، روشنایی آن آهسته‌تر افول می‌کند.) چنین ابرنواخترانی زمانی شکل می‌گیرند که یک کوتوله سفید، در یک سیستم دوتایی، به آهستگی ماده ستاره جفت خود را به درون می‌کشد. با تغذیه از ستاره همزاد، جرم این کوتوله سفید به‌تدریج افزایش می‌یابد تا اینکه وزن آن به ۱/۴ برابر جرم خورشید، یعنی ماکزیمم مقدار ممکن برای یک کوتوله سفید می‌رسد. با فرارفتن از این مرز، کوتوله سفید در خود فرو می‌ریزد و به یک ابرنواختر نوع یک A تبدیل می‌شود. وجود این نقطه انفجار، باعث می‌شود که ابرنواختران نوع یک A درخشندگی یکسانی داشته باشند. این نتیجه طبیعی رسیدن یک کوتوله سفید به یک جرم دقیق مشخص و در نتیجه فروپاشی آن تحت نیروی گرانش است. (همان‌طور که چاندِر اِسخار در سال ۱۹۳۵ نشان داد، در یک کوتوله سفید نیروی گرانشی که ستاره را فشرده می‌کند، با نیروی دافعه بین الکترون‌ها، به نام فشار تبهگنی الکترون، خنثی می‌شود. اگر جرم یک کوتوله سفید بیش از ۱/۴ جرم خورشید باشد، آنگاه گرانش بر این نیرو غلبه کرده، ستاره درهم مچاله می‌شود و ابرنواختر به‌وجود می‌آید.) از آنجا که ابرنواختران دوردست در دنیای جوان‌تر به‌وجود آمده‌اند، با بررسی آن‌ها می‌توان سرعت انبساط جهان را در میلیاردها سال قبل محاسبه کرد.

انتظار دو گروه مستقل از ستاره‌شناسان (به رهبری سائول پِرلماتِر، از پروژه کیهان‌شناسی ابرنواختر و برایان پی اِشمیت، از تیم تحقیقاتی ابرنواختر High-Z)، یافتن این موضوع بود که اگرچه جهان هنوز در حال انبساط است، ولی این انبساط به‌تدریج کند می‌شود. نسل‌های متعددی از ستاره‌شناسان به این باور اعتقاد داشتند و این مسئله که سرعت انبساط جهان به تدریج در حال

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کند شدن است، تا مدت‌ها در تمام کلاس‌های درس کیهان‌شناسی تدریس می‌شد.

پس از بررسی حدود دوازده ابرنواختر، مشخص شد که جهان در ابتدا، با آن سرعتی که قبلاً تصور می‌شد، منبسط نشده است (به این معنی که انتقال به سرخ ابرنواختران و بنابراین سرعت آن‌ها کم‌تر از چیزی بود که در اصل تصور می‌شد). وقتی سرعت انبساط جهان امروز را با جهان میلیاردها سال قبل مقایسه کردند، دریافتند که سرعت انبساط در حال حاضر، نسبت به گذشته بیشتر است. در کمال تعجب، این دو گروه به نتیجه حیرت‌آوری دست یافتند؛ سرعت انبساط جهان در حال افزایش است.

شگفتی آن‌ها وقتی دو چندان شد که دریافتند این داده‌ها با هیچ مقداری از اُمگا سازگار نیست. تنها راه برای اینکه داده‌های به‌دست آمده با نظریه سازگار شود، تعریف مجدد لاندا بود. لاندا، انرژی خلأ است که اولین‌بار از سوی اینشتین معرفی شد. به‌علاوه، آن‌ها دریافتند که اُمگا تحت الشعاع یک لاندای بیش از حد بزرگ قرار دارد که باعث می‌شود جهان در یک انبساط از نوع دسیتر سرعت بگیرد. هردو گروه به‌طور مستقل به این کشف حیرت‌انگیز دست یافتند، ولی برای انتشار یافته خود کمی مردد بودند زیرا تعصب تاریخی قدرتمندی وجود داشت مبنی بر اینکه مقدار لاندا برابر صفر است. آن‌طور که جورج جاکوبی، از رصدخانه قله کیت گفته است: «صحبت کردن در مورد لاندا همواره ترسناک بود و هرکس که آنقدر دیوانه بود که بگوید برابر صفر نیست، با او مثل یک احمق برخورد می‌شد.»

اشمیت به خاطر می‌آورد «من هنوز حیرت زده بودم و باور این مسئله برایم مشکل بود، ولی همه چیز را بارها چک کرده بودیم.... من واقعاً مایل نبودم که این مطلب را به مردم اعلام کنیم، زیرا صادقانه فکر می‌کردم که قتل عام می‌شدیم.» با این‌حال، زمانی که هر دو گروه نتایج خود را در سال ۱۹۹۸ منتشر کردند، نمی‌شد انبوه داده‌های جمع‌آوری شده را نادیده گرفت. بزرگ‌ترین اشتباه اینشتین، یعنی لاندا، چیزی که در کیهان‌شناسی مدرن کاملاً فراموش شده بود، پس از ۹۰ سال گمنامی بازگشت چشمگیری داشت.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فیزیکدانان متحیر مانده بودند. ادوارد ویتن از انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون گفته است: «این عجیب‌ترین یافته تجربی از زمانی بود که من در عالم فیزیک بوده‌ام.» زمانی که مقدار اُمگا برابر ۰/۳، به‌مقدار لاندا برابر ۰/۷، افزوده شد، حاصل جمع (با در نظر گرفتن خطاهای تجربی) برابر ۱ گردید؛ یعنی همان پیش‌بینی نظریه تورم. درست مثل پازلی که در مقابل چشمان ما کامل شود، کیهان‌شناسان قطعه گمشده تورم را یافتند. این قطعه، از خود خلأ بیرون آمد.

بسیار حیرت‌انگیز بود زمانی که این نتیجه به وسیله ماهواره WMAP نیز مورد تائید قرار گرفت. داده‌های دریافتی نشان دادند که انرژی مربوط به لاندا (انرژی تاریک) ۷۳ درصد کل ماده و انرژی جهان را تشکیل داده است و به‌این‌ترتیب آن را به قطعه بزرگ پازل تبدیل می‌کند.

مراحل تحول جهان

یافته‌های ماهواره WMAP، به دانشمندان اطمینان داد که آنان به سمت یک «مدل استاندارد» کیهان‌شناسی، پیش می‌روند. اگرچه هنوز شکاف‌های زیادی وجود دارند، با این حال اخترفیزیکدانان با استفاده از داده‌های دریافتی، در حال ترسیم نمای کلی یک نظریه استاندارد هستند. با استفاده از تصاویری که ما امروز در کنار هم قرار می‌دهیم، می‌بینیم که سیر تکاملی جهان، با خنک شدن آن مراحل متفاوت و مستقلی را پیموده است. گذار از این مراحل مختلف، بیانگر به‌هم ریختن تقارن و تجزیه یک نیروی واحد طبیعت است. در ادامه، مراحلی که تا به امروز شناخته شده‌اند، از این قرارند:

۱) قبل از 10^{-43} ثانیه، عصر پلانک

تقریباً هیچ چیز در مورد عصر پلانک مشخص نیست. در انرژی پلانک (10^{19} میلیارد الکترون ولت)، نیروی گرانش به اندازه دیگر نیروهای کوانتومی قوی بوده است. در نتیجه، چهار نیروی جهان احتمالاً در یک «اَبَرنیرو» متحد بوده‌اند. شاید جهان در فاز کاملی از «هیچ» یا فضای خالی با ابعاد بیشتر، وجود داشته است. تقارن مرموزی که تمام این چهار نیرو را با هم ترکیب

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌کند و باعث تغییرناپذیری معادلات می‌گردد، بیشتر شبیه «اَبَرتقارن»[1] است (برای مطالعه بیشتر در مورد اَبَرتقارن به فصل ۷ مراجعه کنید). به دلایل ناشناخته، تقارن مرموزی که تمام چهار نیرو را متحد ساخته، شکسته شده و حباب کوچکی شکل گرفته است. این حباب کوچک همان جهان جنینی ما است که شاید در نتیجه یک افت و خیز کوانتومی تصادفی ایجاد شده باشد. اندازه این حباب برابر «طول پلانک»، یعنی $۱۰^{-۳۳}$ سانتیمتر، بوده است.

۲) $۱۰^{-۳۲}$ ثانیه، عصر گات

شکست تقارن حبابی به‌وجود آورد که به سرعت انبساط یافت. با متورم شدن حباب، چهار نیروی بنیادی به سرعت از یکدیگر جدا شدند. گرانش، اولین نیرویی بود که از سه نیروی دیگر جدا شد و به‌این‌ترتیب موج ضربه‌ای را در سراسر جهان آزاد کرد. تقارن اصلی اَبَرنیرو به تقارن کوچک‌تری شکسته شد؛ شاید به تقارن گات $SU(5)$. برهم‌کنش‌های قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی باقی مانده، هنوز از طریق تقارن گات با هم متحد بودند. جهان در طی این مرحله، بدلایلی که هنوز مشخص نیست، با ضریب بسیار بزرگی، حدود $۱۰^{۵۰}$ متورم و باعث شد فضا سریع‌تر از سرعت نور منبسط شود. دما در این حالت برابر $۱۰^{۳۲}$ درجه بوده است.

۳) $۱۰^{-۳۲}$ ثانیه، پایان تورم

با جدا شدن نیروی قوی از دو نیروی دیگر، دما به $۱۰^{۲۷}$ درجه کاهش یافت. (گروه تقارن گات، به $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ شکسته شد. دوره تورم پایان یافت، جهان آرام گرفت و از آن پس با انبساط استاندارد فریدمن به‌کار خود ادامه داد. در این حالت، جهان «سوپ» پلاسمای داغ شامل کوارک‌ها، گلئون‌ها و لپتون‌های آزاد بود. کوارک‌های آزاد پس از تراکم به پروتون‌ها و نوترون‌های امروزی تبدیل شدند. جهان ما در این مرحله هنوز بسیار کوچک بود و ابعاد آن تنها به ابعاد فعلی منظومه شمسی می‌رسید. ماده و ضد ماده

1. Supersymmetry

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یکدیگر را خنثی کردند، اما مقدار ماده نسبت به ضد ماده کمی بیشتر بود (یک در یک میلیارد) و باعث به‌وجود آمدن ماده‌ای شد که امروزه در اطراف خود می‌بینیم. (امیدواریم طی چند سال آینده با تکمیل برخورد دهنده بزرگ هادرون[1]، انرژی متناظر با این مرحله قابل دستیابی شود.)

۴) سه دقیقه، شکل‌گیری هسته‌ها

دما به اندازه کافی برای شکل گرفتن هسته‌ها کاهش پیدا کرد. طی فرایند همجوشی، هیدروژن به هلیم تبدیل شد. (که نسبت ۷۵ درصد هیدروژن به ۲۵ درصد هلیم را در جهان ایجاد کرد.) مقادیر ناچیزی لیتیم شکل گرفت، ولی فرایند همجوشی عناصر بالاتر، به‌دلیل اینکه هسته‌های دارای ۵ ذره خیلی ناپایدار بودند، متوقف شد. جهان به‌دلیل تفرق نور به‌وسیله الکترون‌های آزاد، غیرشفاف بود. این مرحله، پایان عمر گوی آتشین اولیه محسوب می‌شود.

۵) ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد، اتم‌ها متولد می‌شوند

دما به ۳۰۰۰ درجه کلوین کاهش یافت. با جایگیری الکترون‌ها در اطراف هسته‌ها، اتم‌ها شکل گرفتند؛ بدون اینکه به‌دلیل گرما از هم پاشیده شوند. فوتون‌ها هم‌اکنون می‌توانستند بی‌آنکه جذب شوند، آزادانه حرکت کنند. این همان تابشی است که به‌وسیله COBE و WMAP اندازه‌گیری شده است. جهانی که زمانی مات و مملو از پلاسما بود، حالا شفاف شد. آسمان به‌جای سفید، اکنون سیاه بود.

۶) یک میلیارد سال بعد، ستارگان متراکم می‌شوند

دما به ۱۸ درجه کلوین کاهش یافت. اختروش‌ها، کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی، عمدتا به‌عنوان نتایج فرعی افت و خیزهای کوچک کوانتومی در گوی آتشین اولیه، شروع به تراکم نمودند. عناصر سبک، مثل کربن، اکسیژن و نیتروژن در ستارگان ساخته شدند. ستارگان در حال انفجار، عناصر بعد از آهن را در آسمان‌ها پراکندند. این دوره، دورترین دوره‌ای است که به‌وسیله

1. Large Hadron Callider

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

تلسکوپ فضایی هابل تصویربرداری شده و قابل تجسس و بررسی است.

۷) ۶/۵ میلیارد سال، انبساط دِسیتر

انبساط فریدمن به تدریج پایان یافت و سرعت انبساط جهان رو به افزایش گذاشت. به‌این‌ترتیب، جهان وارد مرحله‌ای به نام انبساط دِسیتر شد. در این مرحله، نیروی مرموز ضدگرانشی که هنوز شناسایی نشده، جهان را به پیش می‌راند.

۸) ۱۳/۷ میلیارد سال، امروز

اکنون دما به ۲/۷ درجه کلوین کاهش یافته است. ما شاهد جهان امروزی، شامل کهکشان‌ها، ستاره‌ها و سیارات هستیم. سرعت جهان، در یک حالت گریز، رو به افزایش است.

آینده

گرچه امروزه نظریه تورم قدرت پاسخگویی به چنین محدوده وسیعی از معماهای جهان را دارد، با این حال ثابت نمی‌شود که این نظریه صحیح است. (به‌علاوه، اخیراً نظریاتی در عرصه رقابت وارد شده‌اند که در فصل ۷ خواهیم دید.) نتیجه حاصل از بررسی ابرنواختران، باید بارها و بارها، با درنظرگرفتن پارامترهایی مثل غبار و دیگر ناهنجاری‌ها در تولید ابرنواخترها، بازبینی شود. شواهد قطعی و مسلمی که در نهایت سناریوی تورم را تائید یا رد می‌کنند، «امواج گرانش» هستند که در لحظه انفجار بزرگ تولید شده‌اند. این امواج گرانش، مثل پس‌زمینه ریزموج، باید هم‌چنان درحال چرخش در کل جهان باشند و ممکن است، همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، واقعاً از طریق آشکارسازهای امواج گرانش یافت شوند. تورم، پیش‌بینی‌های مشخصی در مورد این امواج گرانش انجام داده و طبیعتاً آشکارسازهای امواج گرانش باید آن‌ها را بیابند.

اما یکی از جذاب‌ترین پیش‌بینی‌های تورم، که نمی‌توان مستقیماً آن را مورد آزمایش قرار داد، وجود «جهان‌های نوزاد» است که در جهان‌های

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

چندگانه وجود دارند، و هر کدام از آن‌ها از مجموعه قوانین فیزیکی کمی متفاوت تبعیت می‌کنند. برای درک مفهوم کامل جهان‌های چندگانه، لازم است ابتدا این موضوع را بدانیم که تورم از نتایج عجیب هر دو معادلات اینشتین و نظریه کوانتوم بهره کامل می‌برد. در نظریه اینشتین ما امکان حضور چندین جهان و در نظریه کوانتوم، ابزار لازم برای تونل زنی بین آن‌ها را داریم. امید می‌رود، در چارچوب جدیدی با نام نظریه M، بتوانیم نظریه‌ای نهایی بناکنیم که به سوآلات ما در مورد جهان‌های موازی و سفر در زمان، یکبار برای همیشه پاسخ دهد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

بخش ۲

جهان چندگانه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فصل ۵ دروازه‌های ورود به ابعاد بالاتر و سفر در زمان

احتمال دارد درون هر سیاهچاله‌ای که فرو می‌پاشد، بذر جهان جدیدی، با توانایی انبساط خفته باشد.

ـ سِر مارتین ریس

سیاهچاله‌ها ممکن است پنجره‌هایی برای ورود به زمان‌های دیگر باشند. هربار که درون سیاهچاله‌ای سقوط کنیم، مجدداً در بخش دیگری از جهان و در دوره دیگری در زمان، بیرون می‌آئیم... سیاهچاله‌ها ممکن است دروازه‌هایی برای ورود به سرزمین عجایب باشند. اما آیا در آنجا، آلیس یا خرگوش‌های سفید وجود خواهند داشت.

ـ کارل ساگان

نسبیت عام، به اسب چوبی تروا شباهت دارد. در ظاهر، این نظریه فوق‌العاده است. با در نظر گرفتن تنها چند فرض ساده، می‌توان ویژگی‌های کلی کیهان، شامل خمیدگی نور ستارگان وخود انفجار بزرگ را با دقت تحسین برانگیزی به‌دست آورد. حتی می‌توان با اعمال یک ثابت کیهان‌شناسی به جهان اولیه، تورم را نیز در این نظریه جا داد. بنابراین، می‌توان گفت جواب‌های معادلات اینشتین، قطعی‌ترین توصیف از تولد و مرگ جهان را به ما ارائه می‌دهند.

وقتی پرده از محتویات این اسب افسانه‌ای برداشته می‌شود، انواع

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

موجودات عجیب‌الخلقه آشکار می‌گردند؛ سیاهچاله‌ها، سفیدچاله‌ها، کرمچاله‌ها و حتی ماشین‌های زمان، که وجود هیچ‌کدام از نظر عقلی باورپذیر نیست. این عجایب، چنان نامانوس هستند که حتی خود اینشتین نیز تصور می‌کرد هیچ‌کدام از آن‌ها هرگز در طبیعت یافت نخواهند شد. او سال‌های زیادی، مصرانه با جواب‌های عجیب معادلات خود مبارزه کرد. امروزه می‌دانیم که نمی‌توان این مفاهیم را علی‌رغم غیر متعارف بودنشان، به سادگی نادیده گرفت. آن‌ها جزء لاینفک نسبیت عام محسوب می‌شوند و درحقیقت ممکن است همین پاسخ‌ها بتوانند راه نجات موجودات هوشمندی باشند که روزی با انجمادِ بزرگ مواجه می‌شوند.

اما شاید بتوان گفت عجیب‌ترین این عجایب، احتمال وجود جهان‌های موازی و دروازه‌هایی است که آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند. اگر استعاره‌ای را که در آن شکسپیر جهان را به صحنه تئاتر تشبیه کرده بود به خاطر آوریم، آنگاه نسبیت عام بیانگر احتمال وجود دریچه‌های فرار روی صحنه خواهد بود. با این حال، به جای اینکه این دریچه‌ها به طبقه زیرین صحنه باز شوند، به صحنه‌های موازی نمایش و شبیه به صحنه اصلی باز می‌شوند. نمایش زندگی را شامل صحنه‌هایی با چندین داستان مختلف در نظر بگیرید طوری که یکی بر روی دیگری قرار داشته باشد. در هر صحنه، بازیگر با این تصور که صحنه نمایش او تنها صحنه موجود است، متن‌های مربوط به خود را خوانده و به ایفای نقش می‌پردازد؛ بدون اطلاع از احتمال وجود صحنه‌های دیگر. اما اگر یک‌روز بازیگری تصادفاً به درون یکی از این دریچه‌ها سقوط کند، خود را درون یک صحنه کاملاً جدید، با قوانین و مقررات و متن‌های جدید خواهد یافت.

اما اگر واقعاً تعداد جهان‌های موجود نامحدود باشد، آیا در تمام این جهان‌ها با قوانین فیزیکی مختلف، امکان حیات وجود خواهد داشت؟ این همان سوآلی است که ایزاک آسیموف در داستان علمی-تخیلی خود با نام خود خدایان مطرح کرد. ایزاک آسیموف در این داستان، جهانی موازی را به تصویر کشید که قوانین هسته‌ای موجود در آن، با آنچه بر جهان ما

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حکمفرماست، تفاوت دارند. زمانی که قوانین معمولی فیزیک منسوخ و به‌جای آن‌ها قوانین جدیدی حاکم شوند، وقایع مهیجی امکان وقوع می‌یابند.

داستان در سال ۲۰۷۰ رخ می‌دهد. زمانی که دانشمندی با نام فردریک هالام مشاهده می‌کند که عنصر معمولی تنگستن-۱۸۶، به‌طور مرموزی به پلوتونیم-۱۸۶ تبدیل می‌شود. پلوتونیم-۱۸۶، پروتون‌های بسیار زیادی داشته و به‌همین دلیل ناپایدار است. هالام پی می‌برد که این پلوتونیم-۱۸۶ عجیب، از جهانی موازی آمده است که در آن نیروی هسته‌ای بسیار قوی‌تر است و به‌همین دلیل این نیرو بر نیروی دافعه پروتون‌ها غلبه کرده است. از آنجا که این پلوتونیم-۱۸۶ عجیب مقادیر زیادی انرژی به شکل الکترون منتشر می‌کرد، می‌توانست تحت کنترل در آید تا مقادیر شگفت‌آوری انرژی تولید کند. به‌این‌ترتیب، پمپ الکترون هالام، به‌منظور برطرف کردن بحران انرژی در کره زمین، ساخته می‌شود و این ابتکار عمل، او را به مردی ثروتمند تبدیل می‌کند. اما نکته داستان اینجاست که بهای این انرژی مجانی باید به نوعی پرداخت شود. اگر به اندازه کافی پلوتونیم-۱۸۶ به جهان ما وارد شود، آنگاه بر قدرت نیروی هسته‌ای به‌طور کلی افزوده خواهد شد. این یعنی انرژی بیشتری از فرایند همجوشی آزاد خواهد شد و در نهایت خورشید درخشان‌تر شده و پس از انفجار آن، کل سیستم منظومه شمسی از بین خواهد رفت!

هم‌زمان، تاثیر چنین مبادله‌ای بر ساکنین دنیای موازی متفاوت است. نیروی هسته‌ای در جهان آن‌ها کاملاً قوی است. به این معنی که ستارگان دنیای آن‌ها، هیدروژن را با سرعت بسیار بالایی مصرف کرده و به‌زودی خواهند مرد. آن‌ها معاوضه‌ای را ترتیب داده‌اند که در آن پلوتونیم-۱۸۶ بلااستفاده را به دنیای ما فرستاده و در عوض تنگستن-۱۸۶ ارزشمند را می‌گیرند. به‌این‌ترتیب آن‌ها توانسته‌اند پمپ پوزیترون بسازند و در نتیجه دنیای رو به مرگ خود را نجات دهند. با اینکه آن‌ها می‌دانند با افزایش قدرت نیروی هسته‌ای در جهان ما ستارگان منفجر می‌شوند، ولی اهمیتی نمی‌دهند.

به‌نظر می‌رسد زمین با فاجعه‌ای روبروست. انسان‌ها به انرژی مجانی هالام عادت کرده‌اند و از پذیرفتن انفجار قریب الوقوع خورشید، سر باز

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌زنند. دانشمند دیگری، روشی خلاقانه برای حل این مسئله بـغرنج ارائـه می‌دهد. از نظر او، حتما جهان‌های موازی دیگری نـیز وجـود دارنـد. او بـا ساخت یک اتم‌شکن، موفق می‌شود روزنه‌ای در فضا ایجاد کرده و جهان ما را به تعداد زیادی جهان دیگر متصل کند. با جستجو در بین این جهان‌ها، موفق می‌شود جهانی را بیابد که خالی از سکنه است و فقط «تخم کـیهانی» در آن وجود دارد که حـاوی مـقادیر نـامحدودی انـرژی، ولی بـا نـیروی هسـته‌ای ضعیف‌تر است.

با استخراج انرژی از این تخم کیهانی، مـی‌توانـد پـمپ انـرژی جـدیدی بسازد و هم‌زمان نیروی هسته‌ای را در جهان ما تضعیف کند. به‌این‌ترتیب او خواهد توانست خورشید را از انفجار باز دارد. به‌هرحال، این‌بار نیز بهای آن باید پرداخته شود: در این جهان موازی جدید، قدرت نیروی هسته‌ای افزایش خواهد یافت که موجب انفجار آن خواهد شد. اما به‌نظر او این انفجار صرفاً باعث می‌شود که تخم کیهانی بشکند و در نتیجه انفجار بزرگ جـدیدی رخ دهد. به بیان دیگر نقش او در مقابل این جهان جدید، همانند یک قابله است.

داستان علمی ـ تخیلی آسـیموف، یکـی از مـعدود مـواردی است کـه در حقیقت از قوانین فیزیک هسته‌ای استفاده می‌کند تا طمع، توطئه و رستگاری را در روایتی داستانی به‌هم پیوند زند. تصور آسیموف مبنی بر اینکه تغییر در قدرت نیروها در جهان ما نتایج فاجعه‌باری بـه‌دنبال خـواهـد داشت، کـاملاً درست است؛ اینکه در صورت افزایش نیروی‌هسته‌ای، درخشش سـتارگان جهان ما بیشتر شده و در نهایت منفجر خواهند شد. حال ناگزیر این سوآل پیش می‌آید: آیا جهان‌های موازی با قوانین فیزیک سازگارند؟ و اگـر چـنین است برای ورود به یکی از این جهان‌ها به چه چیزی نیاز است؟

برای پاسخ به این سوآلات، ناچاریم نخست طبیعت کرمچاله‌ها، انـرژی منفی و البته اجرامی مرموز به نام سیاهچاله‌ها را درک کنیم.

سیاهچاله‌ها

در سال ۱۷۸۳، ستاره‌شناس بریتانیایی، جان میشل، نخستین کسی بود که این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سوآل برایش مطرح شد: اگر ستاره‌ای به اندازه‌ای سنگین باشد که حتی نور نیز نتواند از آن بگریزد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ او می‌دانست که هر جرمی دارای یک «سرعت گریز»[1] است؛ سرعتی که لازم است تا بتوان از نیروی گرانش آن گریخت. (به‌عنوان مثال برای کره زمین، سرعت گریز حدود ۴۰,۰۰۰ کیلومتر بر ساعت است؛ سرعتی که هر پرتابه‌ای، برای گریختن از گرانش زمین باید به آن دست یابد.)

میشل از خود پرسید اگر ستاره‌ای چنان سنگین باشد که سرعت گریز آن با سرعت نور برابر شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ در این حالت، نیروی گرانش چنان عظیم خواهد بود که هیچ چیز نمی‌تواند از آن بگریزد، حتی خود نور و درنتیجه این جرم از دید دنیای خارج سیاه دیده می‌شود. یافتن چنین جرمی در فضا به نوعی غیرممکن است، زیرا چنین جرمی قابل رؤیت نیست.

درگیری ذهنی میشل در مورد ستاره‌های تاریک، به مدت یک و نیم قرن به فراموشی سپرده شد. اما این مسئله مجدداً در سال ۱۹۱۶ مورد بررسی قرار گرفت؛ زمانی که کارل شوارتسشیلد، فیزیکدان آلمانی که در ارتش آلمان در جبهه روسیه خدمت می‌کرد، جواب دقیق معادلات اینشتین را برای ستاره‌ای غول‌پیکر یافت. حتی امروزه نیز راه حلی که شوارتسشیلد برای معادلات اینشتین به‌دست آورد، ساده‌ترین و ظریف‌ترین جواب یافت شده محسوب می‌شود. اینشتین از این متحیر بود که چگونه شوارتسشیلد توانسته بود زیر حملات پی در پی توپخانه، پاسخی برای این معادلات تانسوری پیچیده بیابد. به‌علاوه، ویژگی‌های منحصر به‌فرد پاسخ شوارتسشیلد، اینشتین را تحت تاثیر قرار داده بود.

در نگاه اول، راه حل شوارتسشیلد می‌توانست توصیف گرانش ستاره‌ای معمولی باشد. اینشتین به سرعت از این راه حل استفاده کرد تا گرانش اطراف خورشید را محاسبه و یافته‌های تقریبی قبلی خود را بازبینی کند. به‌همین دلیل، او تا ابد مدیون شوارتسشیلد بود. اما شوارتسشیلد در مقاله دوم خود نشان داد که در اطراف یک ستاره غول‌پیکر، یک «کره جادویی» تخیلی با

1. Escape Velocity

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ویژگی‌های عجیب و نامانوس وجود دارد. این کره جادویی در واقع مرزی است که پس از عبور از آن بازگشتی وجود ندارد. هرکس که از این کره جادویی عبور کند، سریعاً از طریق گرانش به درون ستاره کشیده می‌شود و دیگر هرگز دیده نخواهد شد. حتی نور هم توان گریز از آن را ندارد. شوارتسشیلد متوجه نشد چیزی که او از طریق معادلات اینشتین یافته بود، همان ستاره تاریک میشل است.

در مرحله بعد، او قطر این کره جادویی را (که قطر شوارتسشیلد نام دارد) محاسبه کرد. برای جرمی به ابعاد خورشید ما، قطر جادویی در حدود ۳ کیلومتر (تقریبا ۲ مایل) است. (برای کره زمین، قطر شوارتسشیلد در حدود ۱ سانتیمتر است.) یعنی اگر بتوان خورشید را تا قطر ۳ کیلومتر فشرده کرد، آنگاه به یک ستاره تاریک بدل می‌شود و هر جسمی را که از این مرز بدون بازگشت عبور کند، در خود می‌بلعد.

از نظر تجربی، وجود این کره جادویی مشکلی ایجاد نمی‌کرد، زیرا فشرده کردن خورشید، تا قطر ۳ کیلومتر، غیرممکن بود. برای ایجاد چنین ستاره خارق‌العاده‌ای، مکانیزم شناخته شده‌ای وجود نداشت. ولی به لحاظ نظری، این یک فاجعه بود. نظریه نسبیت عام اینشتین گرچه نتایجی واضح و روشن، مثلا در مورد خمیدگی نور ستارگان در اطراف خورشید، ارائه می‌کرد، اما با نزدیک شدن به خود کره جادویی، جایی‌که گرانش نامحدود می‌شود، نظریه دیگر معنی نداشت.

فیزیکدان هلندی، به نام یوهانس دِروست، بی‌معنی بودن این پاسخ را بیش از پیش آشکار کرد. براساس نسبیت عام، زمانی که پرتوهای نور اطراف جرمی چگال حرکت کنند، به شدت خمیده می‌شوند. او نشان داد که در فاصله ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد، پرتوهای نوری در دوایری به‌دور ستاره می‌چرخند. دروست نشان داد که اطراف ستارگان غول‌پیکر، اعوجاج زمان ناشی از نسبیت عام، بسیار شدیدتر از آنچه بود که در نسبیت خاص رخ می‌داد. او نشان داد که با نزدیک شدن شما به این کره جادویی، ناظر دوردست مشاهده می‌کند که ساعت شما کندتر و کندتر می‌شود تا اینکه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

موقع عبور از مرز، کاملاً از حرکت می‌ایستد. در حقیقت از دید ناظری در بیرون، زمان برای‌شما، با رسیدن به کره جادویی، متوقف می‌شود. از آنجا که خود زمان نیز در این نقطه متوقف می‌شود، برخی فیزیکدانان عقیده داشتند که چنین شیء نامانوسی نمی‌تواند در طبیعت وجود داشته باشد. در ادامه این ماجرا، ریاضیدانی به نام هِرمَن وِیل نشان داد اگر کسی وارد جهان درون کره جادویی شود، شاهد وجود جهان دیگری در آن طرف خواهد بود.

این ادعا چنان عجیب بود که حتی خود اینشتین نیز آن را باور نکرد. در سال ۱۹۲۲، حین کنفرانسی در پاریس، ریاضیدانی با نام ژاکوئیز هادامارد از اینشتین پرسید اگر این «تکینگی» واقعی باشد چه می‌شود؟ یعنی اگر گرانش در قطر شوارتسشیلد نامتناهی شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ اینشتین اینگونه پاسخ داد، «این فاجعه‌ای حقیقی برای نظریه است و بسیار دشوار خواهد بود که بتوانیم از قبل، آنچه از نظر فیزیکی رخ می‌دهد را پیش‌بینی کنیم، زیرا دیگر فرمول‌ها به‌کار نخواهند آمد.» اینشتین بعدها این مشکل را «فاجعه هادامارد» نامید. با این حال او عقیده داشت که تمام مجادلات حول ستاره‌های تاریک، ذهنی و تخیلی هستند. زیرا اولاً آن‌ها غیرفیزیکی بودند، یعنی هیچ کس تاکنون چنین اشیاء خارق‌العاده‌ای را ندیده بود و شاید اصلاً وجود نداشته باشند. ثانیاً، در صورت سقوط به‌درون یکی از این اجسام، انهدام حتمی است. از آنجا که هیچ کس نمی‌تواند از کره جادویی عبور کند (زیرا زمان متوقف می‌شود)، پس هیچ کس هرگز نمی‌تواند به جهان موازی دیگری وارد شود.

در دهه ۱۹۲۰، فیزیکدانان در مورد این مسئله کاملاً گیج شده بودند. اما در سال ۱۹۳۲، جورج لِمِتره، پدر نظریه انفجار بزرگ، تحولی بزرگ ایجاد کرد. او نشان داد که کره جادویی به‌هیچ‌وجه یک تکینگی نیست، (جایی‌که گرانش بی‌نهایت می‌شود) بلکه تنها خطایی ریاضی است که با انتخاب مجموعه نامناسبی از روابط ریاضی به‌وجود آمده است. (اگر مجموعه متفاوتی از مختصات و متغیرها را برای محاسبه کره جادویی به‌کار گیریم، تکینگی از بین می‌رود.)

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کیهان‌شناسی به نام اچ پی رابرتسون، با در نظر گرفتن این نتایج، ادعای اولیه دروست را مبنی بر اینکه زمان در کره جادویی متوقف می‌شود، مجدداً مورد بررسی قرار داد. او دریافت زمان، تنها از دید ناظری که موشک شما را در حال ورود به کره جادویی مشاهده می‌کند، متوقف می‌شود. از منظر خود شما در موشک، تنها کسر کوچکی از ثانیه طول می‌کشد تا گرانش، درست پس از لحظه عبور از کره جادویی، شما را ببلعد. به بیان دیگر، فضانورد بداقبالی که از کره جادویی عبور می‌کند، تقریباً به‌طور آنی خود را در کام مرگ می‌بیند؛ درحالی‌که از نظر شاهدی که از بیرون نگاه می‌کند، به‌نظر می‌آید این امر هزاران سال طول می‌کشد.

این نتیجه مهمی بود. به این معنی که کره جادویی قابل دسترس است و دیگر نمی‌توان از آن، به‌عنوان یک هیولای ریاضی، چشم پوشید. حال می‌توان به‌طور جدی به این مسئله اندیشید که اگر کسی از این کره جادویی عبور کند، برایش چه اتفاقی می‌افتد. سپس فیزیکدانان به این مسئله پرداختند که سفر به درون کره جادویی چگونه می‌تواند باشد. (امروزه کره جادویی، افق رویداد[1] نامیده می‌شود. افق دورترین نقطه قابل مشاهده است. در اینجا افق، به دورترین نقطه‌ای که نور می‌تواند به آن سفر کند، اطلاق می‌شود. قطر افق رویداد، قطر شوارتسشیلد نام دارد.)

با نزدیک شدن موشک به یک سیاهچاله، نوری را خواهید دید که میلیون‌ها سال پیش به‌وسیله سیاهچاله به دام افتاده است. این نور متعلق به زمان شکل‌گیری خود سیاهچاله است. به بیان دیگر، در این حالت تاریخچه زندگی یک سیاهچاله بر شما آشکار خواهد شد. هرچه نزدیک‌تر می‌شوید، نیروهای کششی به‌تدریج اتم‌های بدن شما را از هم می‌پاشند. سفر به افق رویداد، سفری یکطرفه خواهد بود، زیرا گرانش چنان شدید است که به‌ناچار به مرکز و در نهایت به کام مرگ بلعیده می‌شوید. وقتی درون افق رویداد باشید، راه برگشتی وجود ندارد. (برای خروج از افق رویداد، باید بتوان سریع‌تر از نور حرکت کرد که غیرممکن است.)

1. Event horizon

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در سال ۱۹۳۹، اینشتین مقاله‌ای نوشت و در آن، با این ادعا که چنین ستارگانی نمی‌توانند از طریق فرایندهای طبیعی به‌وجود آیند، سعی کرده بود وجود چنین ستارگان تاریکی را منتفی قلمداد کند. او معتقد بود یک ستاره، از مجموعه چرخانی از گرد و غبار و گاز شکل می‌گیرد که به دور هم می‌چرخند و به‌تدریج به‌دلیل گرانش گرد هم جمع می‌شوند. او سپس نشان داد که این مجموعه از ذرات چرخان، هرگز به اندازه قطر شوارتسشیلد متراکم نمی‌شوند و در نتیجه هیچ‌گاه به یک سیاهچاله تبدیل نخواهند شد. در بهترین حالت، این جرم چرخان از ذرات، به ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد می‌رسد و بنابراین سیاهچاله‌ها هیچ‌گاه شکل نمی‌گیرند. (برای دستیابی به قطری کم‌تر از ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد، باید بتوان سریع‌تر از سرعت نور حرکت کرد که غیرممکن است.) اینشتین اینگونه نوشت: «نتیجه اصلی این بررسی، درک واضح این مطلب است که چرا تکینگی شوارتسشیلد واقعیت فیزیکی ندارد.»

آرتور ادینگتون نیز در مورد سیاهچاله‌ها عمیقاً محتاط بود و در تمام مدت عمرش نسبت به‌وجود آن‌ها بدبین بود. او یکبار گفته است: «در طبیعت باید قانونی وجود داشته باشد تا از چنین رفتار نامعقولی برای یک ستاره، جلوگیری کند.»

همان سال، جِی رابرت اوپنهایمر (کسی که بعدها بمب اتم را ساخت)، به‌همراه دانشجویش هارتلند اِسنیدِر، نشان داد که یک سیاهچاله از طریق مکانیزمی کاملاً متفاوت، واقعاً می‌تواند شکل بگیرد. آن‌ها به‌جای اینکه تصور کنند یک سیاهچاله از متراکم شدن مجموعه‌ای از ذرات در حال چرخش و به‌واسطه گرانش به‌وجود می‌آید، ستاره غول‌پیکر پیری را در نظر گرفتند که سوخت هسته‌ای خود را به اتمام رسانده و بنابراین به‌دلیل نیروی گرانش در حال رُمبش است. به‌عنوان مثال، یک ستاره غول‌پیکر در حال مرگ که ۴۰ برابر خورشید ما جرم دارد، می‌تواند پس از اتمام کامل سوخت هسته‌ای خود، به‌واسطه نیروی گرانش تا قطر ۱۳۰ کیلومتر متراکم شود. در این‌صورت به‌ناچار به یک سیاهچاله تبدیل خواهد شد. به‌این‌ترتیب، آن‌ها بیان کردند که سیاهچاله‌ها، نه فقط امکانپذیر هستند، بلکه می‌توانند نقطه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

پایان طبیعی برای میلیاردها ستاره غول‌پیکر رو به مرگ در کهکشان باشند. (شاید ایده رمبش، که در سال ۱۹۳۹ به‌وسیله اپنهایمر ابداع شد، تنها چند سال بعد مکانیزمی برای ساختن بمب اتم به او داد.)

پل اینشتین ـ روزن[1]

گرچه بر اساس عقیده اینشتین سیاهچاله‌ها آنقدر عجیب و نامتعارف بودند که نمی‌توان انتظار یافتن آن‌ها را در طبیعت داشت، با این حال او با مطرح کردن احتمال وجود کرمچاله‌ها در قلب یک سیاهچاله، نشان داد که سیاهچاله‌ها می‌توانند از این هم عجیب‌تر باشند. ریاضیدانان آن‌ها را فضاهای متصل چندگانه نامیدند. فیزیکدانان به آن‌ها کرمچاله می‌گویند؛ زیرا همانند سوراخ کرم‌ها در زمین، کرمچاله‌ها نیز مسیری میانبر بین دو نقطه ایجاد می‌کنند. گاهی آن‌ها را دروازه ورود به ابعاد یا درگاه می‌نامند. نام آن‌ها هرچه باشد، ممکن است کرمچاله‌ها سرانجام بتوانند ابزار مناسبی را برای سفر درون ابعاد مختلف فراهم کنند.

اولین کسی که کرمچاله‌ها را بر سر زبان‌ها انداخت چارلز داگسون بود که تحت نام مستعار لویس کارول می‌نوشت. در کتاب او با نام از درون آئینه، کرمچاله به صورت آئینه‌ای توصیف شده است که حومه شهر آکسفورد را به سرزمین عجایب متصل می‌کند. داگسون، به‌عنوان ریاضیدانی متخصص و استاد دانشگاه آکسفورد، با این فضاهای متصل چندگانه آشنا بود. طبق تعریف، یک فضای متصل چندگانه فضایی است که در آن همه حلقه‌ها را نمی‌توان آنقدر تنگ کرد که به یک نقطه تبدیل شوند. معمولاً هر حلقه‌ای را می‌توان به تدریج آنقدر تنگ کرد تا به یک نقطه تبدیل شود. اما اگر یک شیرینی دونات (پیراشکی حلقوی) را در نظر بگیریم، می‌توان نخ را بر روی سطح آن به‌گونه‌ای حلقه کرد که دور سوراخ پیراشکی قرار بگیرد. با تنگ کردن آهسته حلقه می‌بینیم که حلقه نخی نمی‌تواند بدون خارج شدن از

1. Einstein-Rosen bridge

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

پیراشکی به یک نقطه فشرده شود؛ در بهترین حالت می‌تواند به اندازه محیط سوراخ کوچک شود.

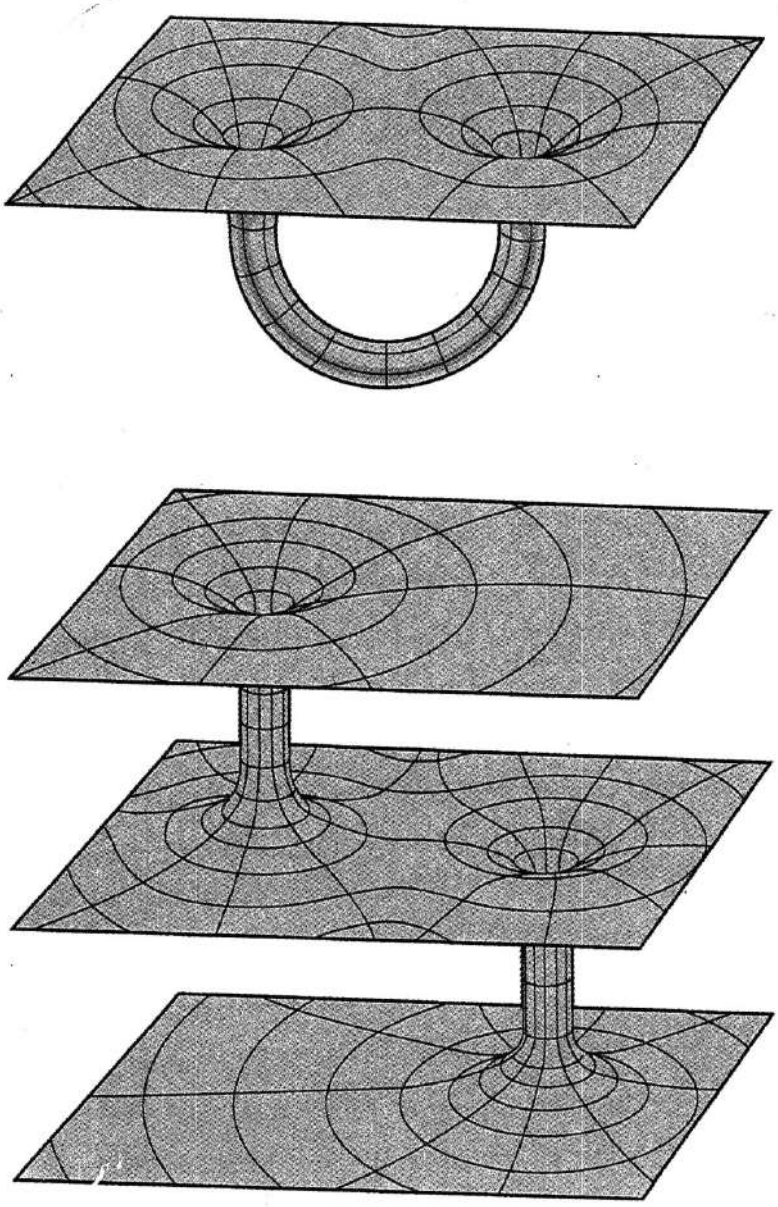
ریاضیدانان از اینکه شکلی را یافته بودند که در توصیف فضا، کاملاً بدون استفاده بود، هیجان زده بودند. ولی در سال ۱۹۳۵، اینشتین و دانشجوی او ناتان روزِن، موفق شدند کرمچاله‌ها را به دنیای فیزیک معرفی کنند. آن‌ها سعی داشتند از پاسخ سیاهچاله، به‌عنوان مدلی برای ذرات بنیادی استفاده کنند. اینشتین هیچ‌گاه از این ایده که گرانش یک ذره، با نزدیک شدن به آن، بی‌نهایت می‌شود، راضی نبود. اینشتین عقیده داشت که این «تکینگی» باید برطرف شود، زیرا بی‌معناست.

ایده جدید اینشتین و روزن توصیف یک الکترون (که اغلب به صورت یک نقطه کوچک بدون ساختار درونی تصور می‌شد) به‌عنوان یک سیاهچاله بود. با استفاده از این روش، این امکان به‌وجود می‌آمد تا بتوان از نسبیت عام، برای توصیف رموز دنیای کوانتوم در یک نظریه میدان یکپارچه، استفاده کرد. آن‌ها با پاسخ استاندارد سیاهچاله شروع کردند که به یک کوزه بزرگ با گلوگاهی دراز شباهت دارد. آنگاه آن را از محل گلوگاه بریده و با سیاهچاله دیگر واژگون شده‌ای، ادغام کردند. اینشتین معتقد بود این ترکیب عجیب ولی در عین حال پیوسته و هموار، در اصل سیاهچاله‌ای مستقل از تکینگی است و شاید بتواند مثل یک الکترون عمل کند.

متأسفانه ایده اینشتین در توصیف یک الکترون به صورت سیاهچاله، با شکست مواجه شد. اما امروزه کیهان‌شناسان عقیده دارند که پل اینشتین-روزن می‌تواند به صورت دروازه‌ای بین دو جهان عمل کند. به‌این ترتیب که احتمال دارد روزی هنگام حرکت آزادانه در یک جهان، تصادفاً درون یک سیاهچاله بیفتیم؛ ناگهان به داخل سوراخ کشیده شویم و از طرف دیگر (از طریق یک سفیدچاله) بیرون بیاییم.

از دید اینشتین، هر پاسخی برای معادلات او، اگر با نقطه شروعی که از نظر فیزیکی پذیرفتنی باشد آغاز شود، حتماً به یک شیء که از نظر فیزیکی محتمل است، منجر می‌شود. اما نگرانی او سقوط به‌درون سیاهچاله و ورود

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly



پل اینشتین-روزن. در مرکز یک سیاهچاله، «گلوگاهی» وجود دارد که فضا-زمان را به جهانی دیگر یا نقطه دیگری در جهان ما ارتباط می‌دهد. گرچه سفر از درون یک سیاهچاله ثابت مرگبار خواهد بود، با این حال سیاهچاله‌های چرخان، دارای تکینگی حلقوی هستند، به نحوی که می‌توان از داخل حلقه و از درون پل اینشتین-روزن عبور کرد؛ گرچه این مسئله هنوز در حد خیال‌پردازی است.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به یک دنیای موازی دیگر نبود. نیروهای کششی در مرکز سیاهچاله بی‌نهایت است و اتم‌های بدن فرد بدشانسی که به درون سیاهچاله سقوط کرده، به‌دلیل میدان گرانش از هم پاشیده می‌شوند. (پل اینشتین-روزن به صورت لحظه‌ای باز شده و چنان سریع بسته می‌شود که هیچ جسمی نمی‌تواند از داخل آن برای رسیدن به سمت دیگر به موقع عبور کند.) اینشتین اینگونه مطرح کرد که گرچه کرمچاله‌ها وجود دارند ولی موجودات زنده هیچ‌گاه نمی‌توانند از درون یکی از آن‌ها عبور کرده و سپس برای صحبت در مورد آنچه بر آن‌ها گذشته است، زنده بمانند.

سیاهچاله‌های چرخان

اما در سال ۱۹۶۳ این دیدگاه تغییر کرد، و آن زمانی بود که ریاضیدان نیوزیلندی، روی کِر موفق شد راه حل دقیقی برای معادلات اینشتین بیابد. شاید بتوان گفت راه حلی که کر یافت، بهترین و واقع بینانه‌ترین توصیف از یک ستاره در حال مرگ بود؛ یک سیاهچاله چرخان. زمانی که ستاره‌ای تحت تاثیر نیروی گرانش می‌رمبد، مطابق اصل بقاء اندازه حرکت زاویه‌ای، به ناچار سریع‌تر می‌چرخد. (این همان دلیلی است که به‌موجب آن کهکشان‌های در حال چرخش به شکل فرفره دیده می‌شوند و اینکه چرا اسکیت بازان زمانی که دست‌های خود را جمع می‌کنند، سریع‌تر می‌چرخند.) یک ستاره در حال چرخش می‌تواند در خود فروپاشیده و به حلقه‌ای از نوترون تبدیل شود. این حلقه می‌تواند پایدار باقی بماند، زیرا نیروی گریز از مرکز رو به بیرون، نیروی گرانش به سمت داخل را خنثی می‌کند. ویژگی حیرت‌انگیز چنین سیاهچاله‌ای این است که سقوط به‌درون سیاهچاله کر، منجر به مرگ نخواهد شد. در عوض از درون پل اینشتین-روزن به جهان موازی دیگری مکیده خواهید شد. کر زمانی که این پاسخ را یافت، به یکی از همکارانش چنین گفت: «اگر از درون این حلقه جادویی عبور کنی، آناً در جهان کاملاً متفاوتی خواهی بود که در آن طول و جرم مقادیری منفی خواهند داشت.»

به بیان دیگر، حلقه چرخان کر، شبیه قاب آئینه آلیس است. با این تفاوت

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

که سفر از درون حلقه کر سفری یک طرفه خواهد بود. اگر مجبور باشید از درون افق رویداد حلقه کر عبور کنید، با اینکه گرانش آنقدر زیاد نخواهد بود که منجر به مرگ شما شود، اما به اندازه‌ای هست که جلوی بازگشت شما از این سفر را بگیرد. (در حقیقت، سیاهچاله کر دارای دو افق رویداد است. برخی معتقدند که برای باز گشت از این سفر، ممکن است به حلقه کر ثانویه‌ای نیاز باشد که جهان موازی را به جهان ما متصل کند.) از برخی جهات می‌توان سیاهچاله کر را با آسانسور یک آسمانخراش مقایسه کرد. آسانسور بیانگر پل اینشتین-روزن است که طبقات مختلف را به‌هم ارتباط می‌دهد، طوری که هر طبقه یک جهان متفاوت است. در حقیقت تعداد نامحدودی طبقه در این آسمانخراش وجود دارد که هر کدام با دیگری متفاوت است. اما این آسانسور هرگز نمی‌تواند به سمت پایین حرکت کند. تنها یک کلید به سمت بالا وجود دارد. هر بار که شما طبقه یا جهانی را ترک می‌کنید، بازگشتی درکار نخواهد بود، زیرا شما از یک افق رویداد عبور کرده‌اید.

فیزیکدانان در مورد اینکه یک حلقه کر تا چه اندازه می‌تواند پایدار باشد، با هم اختلاف نظر دارند. برخی محاسبات بیان می‌دارند که اگر کسی سعی در عبور از درون حلقه داشته باشد، حضور خود شخص، منجر به ناپایداری سیاهچاله و بسته شدن درگاه می‌شود. به‌عنوان مثال اگر یک پرتو نوری بخواهد از درون یک سیاهچاله کر بگذرد، هنگام سقوط به مرکز، انرژی فوق‌العاده زیادی دریافت می‌کند و دچار انتقال به آبی می‌شود؛ یعنی فرکانس و انرژی آن افزایش می‌یابند. به‌این‌ترتیب زمانی که به افق نزدیک می‌شود، چنان پرانرژی خواهد بود که مسافران پل اینشتین-روزن را به کام مرگ می‌کشد. به‌علاوه، این پرتو نور، میدان گرانشی خود را ایجاد خواهد کرد که به علت تداخل با سیاهچاله اصلی، شاید درگاه را تخریب کند.

به عبارت دیگر، با اینکه برخی فیزیکدانان تصور می‌کنند سیاهچاله کر بهترین توصیف را برای سیاهچاله‌ها ارائه داده و در واقع امکان پیوند جهان‌های موازی را فراهم می‌آورد، ولی هنوز آشکار نیست که ورود به پل اینشتین-روزن تا چه حد امن و این درگاه تا چه حد پایدار خواهد بود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

رصد سیاهچاله‌ها

به‌دلیل ویژگی‌های خارق‌العاده سیاهچاله‌ها، آن‌ها را حتی تا اوایل دهه ۹۰ هنوز اجرامی علمی تخیلی می‌دانستند. ستاره‌شناسی به نام داگلاس ریچستون، از دانشگاه میشیگان، در سال ۱۹۹۸ چنین گفته است: «ده سال پیش اگر جرمی را می‌یافتید و فکر می‌کردید که سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان است، نیمی از مردم تصور می‌کردند که شما دیوانه‌اید.» از آن زمان تاکنون ستاره‌شناسان صدها سیاهچاله را در فضا شناسایی کرده‌اند. این امر به کمک تلسکوپ فضایی هابل، تلسکوپ فضایی پرتو X چاندرا (که پرتو X گسیل شده از ستاره‌های قدرتمند و منابع کهکشانی را اندازه‌گیری می‌کند) و آرایه بسیار بزرگ تلسکوپ رادیویی (که شامل مجموعه‌ای از تلسکوپهای رادیویی قدرتمند در نیومکزیکو است) صورت گرفته است. در حقیقت، مطابق عقیده بسیاری از ستاره‌شناسان، اغلب کهکشان‌ها (که وسط قرص خود برآمدگی دارند) در مرکز خود دارای سیاهچاله هستند.

همان‌طور که انتظار می‌رود، تمام سیاهچاله‌های یافت شده در فضا، به سرعت در حال چرخش هستند. سرعت چرخش برخی از آن‌ها که با کمک تلسکوپ فضایی هابل اندازه‌گیری شده برابر با ۱/۶ میلیون کیلومتر در ساعت است. در مرکز، هسته تخت و مدوری دیده می‌شود که غالباً یک سال نوری قطر دارد. درون این هسته مرکزی، افق رویداد و خود سیاهچاله قرار دارند.

از آنجا که سیاهچاله‌ها نامرئی هستند، ستاره‌شناسان ناچارند برای تایید وجود آن‌ها از روش‌های غیرمستقیم استفاده کنند. آن‌ها تلاش می‌کنند در تصاویر، «قرص برافزایشی» ناشی از گازهای چرخان که سیاهچاله را احاطه کرده‌اند، شناسایی شود. در حال حاضر ستاره‌شناسان تصاویر بسیار زیبایی از این قرص‌های برافزایشی جمع‌آوری کرده‌اند. (این قرص‌ها تقریباً در سراسر جهان، در اغلب اجرامی که به سرعت می‌چرخند، یافت می‌شوند. حتی خورشید ما نیز، احتمالاً ۴/۵ میلیارد سال پیش، در زمان شکل‌گیری، قرص مشابهی داشته که بعدها متراکم شده سیارات را تشکیل داده است. دلیل شکل‌گیری این قرص‌ها را می‌توان اینگونه توضیح داد: آن‌ها بیانگر پایین‌ترین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حالت انرژی برای اجرامی هستند که با سرعت زیاد می‌چرخند.) ستاره‌شناسان با اندازه‌گیری سرعت ستارگانی که در اطراف یک شیء در حال چرخش هستند، می‌توانند با استفاده از قوانین حرکت نیوتون جرم شیء مرکزی را محاسبه کنند. اگر شیء مرکزی، سرعت فراری برابر با سرعت نور داشته باشد، دلیل غیرمستقیمی بر حضور یک سیاهچاله به‌دست آمده است.

افق رویداد، در مرکز قرص برافزایشی قرار دارد. (متأسفانه آنقدر کوچک است که با فناوری امروز نمی‌توان آن را تشخیص داد. ستاره‌شناسی به نام مِلیا، معتقد است ثبت تصویر افق رویداد یک سیاهچاله بر روی فیلم، جام مقدس علم سیاهچاله‌ها خواهد بود.) تمام گازهایی که جذب سیاهچاله می‌شوند، از درون افق رویداد عبور نمی‌کنند. برخی از آن‌ها افق رویداد را دور می‌زنند و با سرعت فوق‌العاده زیادی به فضا پرتاب می‌شوند. به‌این‌ترتیب دو فواره بلند گازی در دو قطب شمال و جنوب سیاهچاله شکل می‌گیرند و در نتیجه سیاهچاله شبیه دوک نخ ریسی می‌شود. (دلیل شکل‌گیری فواره‌ها احتمالاً این است که خطوط میدان مغناطیسی ستاره در حال فروپاشی، ضمن اینکه در حال تقویت هستند، بر فراز قطب‌های شمال و جنوب تمرکز بیشتری دارند. زمانی که ستاره به فروپاشی خود ادامه می‌دهد، این خطوط میدان مغناطیسی به صورت دو استوانه در قطب‌های شمال و جنوب متمرکز می‌شوند. ذرات یونیزه، پس از سقوط در ستاره فروپاشیده، مسیر باریک خطوط نیروی مغناطیسی را دنبال می‌کنند و به صورت فواره‌هایی در جهت میدان‌های مغناطیسی قطبی شمال و جنوب خارج می‌شوند.)

تاکنون دو نوع سیاهچاله شناسایی شده‌اند. در نوع نخست، سیاهچاله‌های ستاره‌ای، ستاره در حال مرگی تحت نیروی گرانش می‌رمبد. نوع دوم، سیاهچاله‌های کهکشانی، در قسمت مرکزی کهکشان‌های بزرگ و اختروش‌ها پنهان شده‌اند. تشخیص آن‌ها آسانتر است و میلیون‌ها تا میلیاردها برابر خورشید جرم دارند.

اخیراً به‌طور قطعی مشخص شده که سیاهچاله‌ای در مرکز کهکشان راه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سیری وجود دارد. متأسفانه ابرهای گرد و غبار، مرکز کهکشان را پوشانده و مانع از دید واضح می‌شوند؛ اگر اینگونه نبود هر شب از روی کره زمین، توپ آتشین بزرگی در صورت فلکی قوس دیده می‌شد. بدون وجود این گرد و غبار، احتمالاً مرکز کهکشان راه شیری، ماه را تحت الشعاع قرار داده و به درخشان‌ترین جرم در آسمان شب بدل می‌کرد. در نقطه مرکزی این هسته کهکشانی، سیاهچاله‌ای قرار گرفته که ۲/۵ میلیون برابر خورشید جرم دارد. قطر آن حدود یک دهم قطر مدار عطارد است. این سیاهچاله، در مقایسه با استانداردهای کهکشانی، سیاهچاله بزرگی محسوب نمی‌شود؛ اختروش‌ها می‌توانند سیاهچاله‌هایی با جرمی معادل چندین میلیارد برابر جرم خورشید داشته باشند. در حال حاضر سیاهچاله حیاط پشتی ما تقریباً غیرفعال است.

سیاهچاله کهکشانی نزدیک بعدی، در مرکز کهکشان آندرومدا قرار دارد. جرم آن ۳۰ میلیون برابر جرم خورشید و قطر شوارتسشیلد آن حدود ۱۰۰ میلیون کیلومتر است. (در مرکز کهکشان آندرومدا، حداقل دو جرم سنگین وجود دارند که دیگری احتمالاً باقی مانده کهکشانی است که میلیاردها سال پیش به‌وسیله آندرومدا بلعیده شده است. اگر آن‌طور که به‌نظر می‌رسد، پس از میلیاردها سال، سرانجام راه شیری با آندرومدا برخورد کند، شاید کهکشان ما درون «شکم» آندرومدا ناپدید شود.)

یکی از زیباترین عکس‌ها از سیاهچاله‌های کهکشانی متعلق به کهکشان NGC4261 است که به‌وسیله تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است. در گذشته، تصاویر تلسکوپ رادیویی از این کهکشان، دو فواره را نشان می‌دادند که از قطب‌های شمال و جنوب آن خارج شده‌اند، ولی در آن زمان کسی ماهیت این فواره‌ها را نمی‌دانست. تلسکوپ هابل موفق شد از نقاط مرکزی کهکشان عکس بگیرد و به‌این‌ترتیب قرص زیبایی به قطر حدود ۴۰۰ سال نوری آشکار شد. در بخش مرکزی قرص، نقطه کوچکی به قطر حدود یک سال نوری قرار دارد که همان قرص برافزایشی سیاهچاله است. سیاهچاله مرکزی که به‌وسیله تلسکوپ هابل قابل رؤیت نیست، ۱/۲ میلیارد برابر خورشید جرم دارد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سیاهچاله‌های کهکشانی از این دست، چنان قدرتمندند که می‌توانند تمام ستارگان را ببلعند. در سال ۲۰۰۴، ناسا و آژانس فضایی اروپا، مشترکاً سیاهچاله عظیمی را شناسایی کردند که در کهکشان دوردستی در حال بلعیدن یک ستاره بود. تلسکوپ پرتو X چاندرا و ماهواره اروپایی XMM نیوتون، هر دو همین رویداد را رصد کردند: درخشش کهکشان RXJ1242-11 در پرتو X، نشان می‌دهد که یک ستاره به‌وسیله سیاهچاله عظیمی در مرکز بلعیده شده است. تخمین می‌زنند که این سیاهچاله، ۱۰۰ میلیون برابر خورشید جرم دارد. محاسبات نشان داده‌اند زمانی که ستاره‌ای به افق رویداد یک سیاهچاله نزدیک می‌شود، نیروی گرانش فوق‌العاده زیاد، ستاره را از شکل طبیعی خارج می‌کند، تا آنجا که آن را از هم می‌پاشد و درخششی از پرتوهای X منتشر می‌کند. استفانی کوموسا، ستاره‌شناس انستیتوی ماکس پلانک در گارچینگ آلمان می‌گوید: «این ستاره بیش از نقطه شکست خود، کشیده شده است. ستاره بد اقبال، اطراف همسایه نامناسبی قدم می‌زده است.»

بسیاری از معماهای قدیمی با وجود سیاهچاله‌ها حل می‌شود. به‌عنوان مثال کهکشان M87 همواره برای ستاره‌شناسان یک معما بوده است، زیرا شکل آن شبیه یک توپ بزرگ از ستارگان است که دم عجیبی از آن بیرون آمده است. از آنجا که این کهکشان مقادیر زیادی تابش منتشر می‌کند، ستاره‌شناسان گمان کردند که این دم نشان‌دهنده جریانی از ضدماده است. ولی امروزه ستاره‌شناسان دریافته‌اند که این کهکشان از یک سیاهچاله عظیم با جرم شاید ۳ میلیارد برابر جرم خورشید، انرژی می‌گیرد و در حال حاضر این عقیده وجود دارد که این دم عجیب، فواره عظیمی از پلاسما است که به بیرون (و نه به درون) کهکشان جریان دارد.

یکی از تماشایی‌ترین یافته‌های مربوط به سیاهچاله‌ها زمانی حاصل شد که تلسکوپ پرتو X چاندرا توانست از داخل روزنه کوچکی در گرد و غبار فضای بیرونی، مجموعه‌ای از سیاهچاله‌ها را نزدیک به لبه جهان مرئی مشاهده کند. در مجموع، ۶۰۰ سیاهچاله دیده شدند. با تعمیم این یافته،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ستاره‌شناسان تخمین می‌زنند که حداقل ۳۰۰ میلیون سیاهچاله در سراسر آسمان شب وجود دارد.

درخشش‌های گاما

سیاهچاله‌های فوق‌الذکر شاید میلیاردها سال عمر داشته باشند. اما در حال حاضر ستاره‌شناسان موقعیت‌های معدودی دارند تا سیاهچاله‌ها را در حال شکل‌گیری مقابل چشمان‌شان ببینند. برخی از این موقعیت‌ها، احتمالاً درخشش‌های مرموز پرتو گاما هستند که بیشترین مقدار انرژی را در جهان آزاد می‌کنند. انفجارات عظیم پرتو گاما، از نظر مقدار انرژی‌ای که آزاد می‌کنند، پس از خود انفجار بزرگ در مرتبه دوم قرار دارند.

درخشش‌های پرتو گاما تاریخچه عجیبی دارند که به دوره جنگ سرد باز می‌گردد. در اواخر دهه ۱۹۶۰، ایالات متحده نگران این موضوع بود که اتحاد جماهیر شوروی یا کشوری دیگر مخفیانه در صحراهای کره زمین یا حتی روی کره ماه، آزمایش هسته‌ای انجام دهد و به‌این‌ترتیب توافقات موجود را زیرپا بگذارد. بنابراین ایالات متحده ماهواره وِلا را به فضا پرتاب کرد تا به ویژه «درخشش‌های هسته‌ای» یا انفجارهای احتمالی بمب هسته‌ای را شناسایی کند. به‌دلیل اینکه انفجارهای هسته‌ای در مراحلی مجزا در حد میکروثانیه رخ می‌دهند، هر درخشش هسته‌ای، یک درخشش دوگانه منحصر به‌فرد منتشر می‌کند که به‌وسیله ماهواره قابل شناسایی است. (ماهواره وِلا دو تا از چنین درخشش‌های هسته‌ای را در دهه ۱۹۷۰، بیرون از سواحل جزیره پرنس ادوارد نزدیک آفریقای جنوبی و در حضور ناوهای جنگی اسرا...، دریافت کرد؛ مشاهداتی که به‌وسیله مجامع اطلاعاتی ایالات متحده، هنوز مورد بحث و مجادله است.)

اما آنچه پنتاگون را وحشت زده کرد این بود که ماهواره ولا نشانه‌هایی از انفجارهای بزرگ هسته‌ای در فضا دریافت می‌کرد. آیا اتحاد جماهیر شوروی با استفاده از یک فناوری پیشرفته ناشناخته، مخفیانه بمب‌های هیدروژنی را در اعماق فضا منفجر می‌کرد؟ با این فرض که شوروی ممکن است موفق

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

شده باشد در فناوری تسلیحاتی از ایالات متحده پیشی بگیرد، از دانشمندان برجسته خواسته شد تا این نشانه‌های دریافتی از اعماق فضا را تحلیل کنند.

پس از فروپاشی شوروی، دیگر نیازی به طبقه‌بندی این اطلاعات نبود و بنابراین پنتاگون کوهی از داده‌ها را به دنیای ستاره‌شناسی ارائه کرد. برای اولین‌بار در طول چند دهه، یک پدیده ستاره‌شناسی کاملاً جدید با وسعت و قدرتی فوق‌العاده، آشکار شده بود. ستاره‌شناسان به سرعت دریافتند که این درخشش‌های گاما چنان عظیم‌اند که می‌توانند کل انرژی خروجی خورشید را در طول عمر آن (در حدود ۱۰ میلیارد سال) تنها در عرض چند ثانیه آزاد سازند. اما این درخشش‌ها زودگذر بودند؛ هر بار که یکی از آن‌ها به‌وسیله ماهواره ولا شناسایی می‌شد، به محض اینکه تلسکوپ‌های زمینی به سمت آن هدف گیری می‌کردند، سریعاً ناپدید شده و چیزی ثبت نمی‌شد. (اغلب درخشش‌ها بین ۱ تا ۱۰ ثانیه دوام دارند؛ کوتاه‌ترین آن‌ها ۰/۰۱ ثانیه و برخی دیگر تا چندین دقیقه طول می‌کشند.)

امروزه، تلسکوپ‌های فضایی، رایانه‌ها و گروه‌های واکنش سریع، قابلیت ما را برای تعیین مکان درخشش‌های گاما بهبود بخشیده‌اند. هر روز حدود سه درخشش گاما شناسایی می‌شوند که زنجیره پیچیده‌ای از عملیات بعدی را به جریان می‌اندازند. به محض اینکه انرژی ناشی از آن‌ها توسط ماهواره آشکار می‌شود، ستاره‌شناسان با استفاده از رایانه، به سرعت مختصات دقیق آن را یافته و تلسکوپ‌ها و آشکارسازهای بیشتری را به سمت آن هدف گیری می‌کنند.

داده‌های حاصل از این ابزارها، نتایج حیرت‌آوری را آشکار ساخته‌اند. در قلب این درخشش‌های گاما، اغلب جرمی با قطر تنها ده‌ها کیلومتر قرار دارد. به بیان دیگر، قدرت کیهانی غیرقابل تصور یک درخشش گاما، در محدوده‌ای به ابعاد شاید شهر نیویورک متمرکز شده است. برای سال‌ها، علت اصلی چنین رویدادهایی ستاره‌های نوترونی محسوب می‌شدند که در یک سیستم دوتایی با یکدیگر برخورد می‌کنند. برطبق این نظریه، مدار این ستاره‌های نوترونی حول یکدیگر، در طول زمان کوچک شده و آن‌ها سرانجام به

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یکدیگر برخورد می‌کنند و مقادیر بی‌کرانی انرژی آزاد می‌شود. چنین رویدادهایی به ندرت اتفاق می‌افتند، ولی از آنجا که جهان بسیار بزرگ است و چنین انفجارهایی تمام کیهان را روشن می‌کنند، باید روزی چند تا از آن‌ها را ببینیم.

اما در سال ۲۰۰۳، دانشمندان شواهد جدیدی جمع‌آوری کردند مبنی بر اینکه درخششهای گاما در حقیقت نتیجه یک «هایپرنوا» (یا اَبَرنواختر) هستند که منجر به ایجاد سیاهچاله‌های عظیم می‌شوند. ماهواره‌ها و تلسکوپ‌ها به سرعت درخشش‌های گاما را نشانه گرفته و مشاهده کردند که آن‌ها به یک ابرنواختر عظیم شباهت دارند. از آنجا که ستاره در حال انفجار، دارای یک میدان مغناطیسی بزرگ است و تابش را از طریق جهت‌های قطبی شمال و جنوب گسیل می‌کند، ممکن است اینطور به‌نظر بیاید که ابرنواختر بیش از اندازه انرژی دارد؛ یعنی ما این درخشش‌ها را تنها در صورتی می‌بینیم که مستقیماً به سمت زمین نشانه رفته باشند و این تصور اشتباه را در ما ایجاد می‌کنند که آن‌ها از آنچه واقعاً هستند قدرتمندترند.

اگر داده‌های دریافتی، مشخص کنند که درخشش‌های گاما در حقیقت سیاهچاله‌ها هستند، آنگاه نسل بعدی تلسکوپ‌های فضایی باید بتوانند آن‌ها را با جزئیات دقیق تحلیل کنند و شاید به برخی از عمیق‌ترین سوآلات ما در مورد فضا و زمان پاسخ دهند. به‌عنوان مثال، اگر سیاهچاله‌ها بتوانند فضا را خمیده کنند، آیا می‌توانند زمان را نیز خم کنند؟

ماشین زمان وَن اِستوکوم

نظریه اینشتین، فضا و زمان را به‌گونه‌ای تفکیک ناپذیر به یکدیگر پیوند می‌دهد. در نتیجه، کرمچاله‌ای که دو نقطه دور در فضا را به‌هم متصل می‌کند، ممکن است همچنین دو نقطه دور در زمان را به‌هم وصل کند. به بیان دیگر، نظریه اینشتین احتمال سفر در زمان را نیز فراهم می‌آورد.

مفهوم زمان، خود در طول قرن‌ها تغییر کرده است. نیوتون زمان را همانند یک پیکان تصور می‌کرد؛ پس از اینکه از کمان رها شود، هرگز تغییر مسیر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نمی‌دهد و مستمر و یکپارچه رو به هدف پیش می‌رود. سپس اینشتین مفهوم فضا-زمان خمیده را مطرح کرد. بنابراین زمان از نظر او بیشتر شبیه رودخانه‌ای بود که در مسیری پر پیچ و خم در جهان، هر لحظه سرعت گرفته یا آرام می‌گیرد. اما آنچه اینشتین را نگران می‌کرد این احتمال بود که شاید روزی رودخانه زمان برخلاف مسیر حرکت خود به عقب باز گردد. شاید گرداب‌ها یا انشعاباتی بتوانند در رودخانه زمان به‌وجود آیند.

در سال ۱۹۳۷، زمانی این احتمال مطرح شد که دبلیو جی وَن اِستوکوم پاسخی برای معادلات اینشتین یافت که در آن، سفر در زمان مجاز بود. او کار را از یک استوانه نا محدود در حال گردش شروع کرد. گرچه از نظر فیزیکی امکان ساخت یک شیء با ابعاد بینهایت وجود ندارد، با این حال او حساب کرد که اگر چنین استوانه‌ای با سرعت نزدیک به نور دور خود بچرخد، بافت فضا-زمان را با خود می‌کشد؛ بسیار شبیه به عسلی که با چرخش تیغه‌های مخلوط کن، کشیده می‌شود. (این پدیده، کشش چارچوب نامیده می‌شود و در حال حاضر عملاً در عکس‌های دقیق سیاهچاله‌های چرخان دیده می‌شود.)

فرد شجاعی که در اطراف این استوانه سفر کند، کشیده شده و سرعتی فوق‌العاده می‌گیرد. در حقیقت، از نظر ناظر دور، فرد از سرعت نور فراتر می‌رود. گرچه ون استوکوم این مسئله را همان موقع در نیافت، ولی اگر شما سفر کاملی به دور استوانه داشته باشید، در حقیقت می‌توانید در زمان به عقب بازگردید. اگر نیمروز حرکت کرده باشید، زمانی که به نقطه شروع خود باز می‌گردید، ممکن است ساعت ۶ بعدازظهر روز قبل باشد. هرچه استوانه سریع‌تر بچرخد، بیشتر می‌توانید در زمان به عقب بازگردید (تنها محدودیت موجود این است که نمی‌توانید به زمانی پیش از زمان ایجاد خود استوانه بازگردید.)

این استوانه شبیه به تیرک‌های آذین‌بندی شده‌ای است که در جشن‌ها در شهر می‌چرخانند و هر بار که دور این تیرک به رقص در آئید، بیشتر و بیشتر در زمان به عقب باز می‌گردید. البته می‌توان چنین پاسخی را به‌راحتی رد کرد؛

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

زیرا هیچ استوانه‌ای نمی‌تواند بی‌نهایت بلند باشد. به‌علاوه، اگر هم بتوان چنین استوانه‌ای را ساخت، به‌دلیل اینکه نزدیک به سرعت نور می‌چرخد، نیروهای گریز از مرکز در آن بسیار بزرگ خواهند بود که باعث می‌شود ماده سازنده استوانه به اطراف پراکنده شود.

جهان گودِل

در سال ۱۹۴۹، کورت گودِل، متخصص بزرگ منطق ریاضی، پاسخ عجیب‌تری برای معادلات اینشتین یافت. او فرض کرد که کل جهان در حال چرخش است. درست شبیه به حالت استوانه ون استوکوم، طبیعت عسل مانند فضا-زمان، افراد را می‌کشد. اگر با موشک جهان گودل را دور بزنید، پس از یک دور چرخش درست به نقطه شروع خود باز می‌گردید؛ ولی در زمانِ گذشته.

در جهان گودل، اصولاً یک فرد می‌تواند بین هر دو نقطه جهان، در فضا و زمان، سفر کند. می‌توان هر رویدادی را در هر زمانی در گذشته مشاهده کرد. جهان گودل، به خاطر وجود نیروی گرانش، تمایل به فروپاشی به درون دارد. بنابراین نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش، باید بتواند این نیروی گرانش را خنثی کند. به بیان دیگر، سرعت چرخش جهان باید از یک مقدار حداقل بیشتر باشد. هرچه جهان بزرگ‌تر باشد، تمایل برای فروپاشی آن نیز بیشتر خواهد بود و بنابراین برای جلوگیری از فروپاشی، ناچار است سریع‌تر بچرخد.

به‌عنوان مثال، گودل محاسبه کرد که جهانی در ابعاد جهان ما، باید هر ۷۰ میلیارد سال یکبار به‌دور خود بچرخد و در این صورت، شعاع حداقل برای سفر در زمان، ۱۶ میلیارد سال نوری خواهد بود. به هر حال، برای سفر به عقب در زمان باید با سرعتی کم‌تر از سرعت نور سفر کنید.

گودل آگاه بود که چه پارادوکس‌هایی ممکن است در ارتباط با پاسخ او مطرح شود. به‌عنوان مثال، احتمال ملاقات با خود در گذشته و تغییر مسیر تاریخ از جمله پارادوکس‌هایی بودند که مطرح شدند. او نوشته است: «این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

امکان وجود دارد که با انجام سفری دایره‌ای با یک موشک فضایی در مسیری با شعاع به حد کافی بزرگ، بتوانید به هر نقطه‌ای در گذشته، حال و آینده سفر کنید و دوباره باز گردید؛ درست همان‌طور که در جهان‌های دیگر این امکان وجود دارد که به مناطق دوردست در فضا سفر کنید. اینگونه امور دور از واقعیت به‌نظر می‌رسند. زیرا به‌این‌ترتیب فرد قادر می‌شود به گذشته‌ای نزدیک، به مکان‌هایی که در آن‌ها زندگی می‌کرده است، باز گردد. او در آنجا خود را در گذشته خواهد یافت و به‌این‌ترتیب می‌تواند با خود کاری کند که می‌داند در گذشته برایش رخ نداده است.»

راه حل گودل که دوست و همسایه اینشتین در انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون بود، اینشتین را آشفت. عکس‌العمل او این موضوع را نشان می‌دهد:

> از نظر من، مقاله کورت گودل کمک مهمی برای نظریه نسبیت عام محسوب می‌شود؛ مخصوصاً در زمینه تحلیل مفهوم زمان. مشکلی که الان مطرح است، در زمان شکل‌گیری نظریه نسبیت عام نیز مرا آشفته می‌کرد، بدون اینکه در حل آن موفق باشم... از نظر کیهان‌شناسی، تمایز بین مفهوم «زودتر-دیرتر» برای پدیده‌های جهان از بین می‌رود و پارادوکس‌هایی در مورد جهت ارتباط علت و معلولی وقایع از گفته‌های آقای گودل برمی آید... جالب است دریابیم این وقایع نمی‌توانند در صحنه‌های فیزیکی وجود داشته باشند.

پاسخ اینشتین به دو دلیل جالب توجه است. نخست اینکه طبق اظهار خودش، زمانی که برای اولین‌بار نسبیت عام را مطرح می‌کرد، امکان سفر در زمان ذهن او را مشغول کرده بوده است. از آنجاکه طبق ادعای اینشتین، زمان و فضا مانند قطعه‌ای لاستیکی می‌توانند خمیده و تابیده شوند، او نگران بود که بافت فضا-زمان آنقدر پیچ و تاب بردارد که امکان سفر در زمان فراهم آید. ثانیاً او راه حل گودل را بر مبنای «دلایل فیزیکی» رد کرد، یعنی جهان نمی‌چرخد، بلکه منبسط می‌شود.

پس از مرگ اینشتین، این مسئله کاملاً آشکار شده بود که معادلات او

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌توانند منشاء پدیده‌های عجیبی (سفر در زمان، کرمچاله‌ها) باشند. با این حال هیچ کس توجه خاصی به این موارد نشان نداد، زیرا دانشمندان احساس می‌کردند این پدیده‌ها در طبیعت امکان تحقق ندارند. توافق بر این بود که این پاسخ‌ها پایه و اساسی در دنیای واقعی ندارند؛ اینکه تلاش برای سفر به یک جهان موازی از طریق یک سیاهچاله موجب مرگ شما می‌شود؛ جهان نمی‌چرخد و شما نمی‌توانید استوانه‌های بی‌نهایت بلند بسازید، باعث می‌شد سفر در زمان تنها بحثی آکادمیک تلقی شود.

ماشین زمان تورن

مسئله سفر در زمان برای ۳۵ سال راکد باقی ماند، تا اینکه در سال ۱۹۸۵، ستاره‌شناسی به نام کارل ساگان در حال نوشتن رمان خود به نام ارتباط، تصمیم داشت روشی به‌کار گیرد که توسط آن، قهرمان زن داستان بتواند به ستاره نسر واقع (وگا) سفر کند. او سفری دوطرفه لازم داشت که در آن قهرمان زن داستان بتواند به ستاره نسر واقع سفر کرده و سپس به زمین باز گردد؛ چیزی که از طریق یک کرمچاله امکان‌پذیر نبود. او برای حل این مسئله به فیزیکدانی به نام کیپ تورن مراجعه کرد. تورن دنیای فیزیک را با یافتن پاسخ‌های جدید برای معادلات اینشتین تکان داد؛ پاسخ‌هایی که امکان سفر در زمان را فارغ از بسیاری مشکلات پیشین، فراهم می‌کرد. در سال ۱۹۸۸، تورن به‌همراه همکاران خود، مایکل موریس و اُلوی یورت سِوِر، نشان داد که اگر بتوان به شکل عجیبی از ماده و انرژی، مثل «ماده منفی» و «انرژی منفی» دست یافت، امکان ساخت یک ماشین زمان وجود دارد. در ابتدا فیزیکدانان نسبت به این پاسخ جدید مشکوک بودند، زیرا هیچ کس تاکنون این نوع ماده عجیب را ندیده بود و همچنین انرژی‌منفی تنها در مقادیر بسیار جزئی یافت می‌شود. اما این پاسخ روزنه جدیدی به درک ما از سفر در زمان گشود.

امتیاز بزرگ ماده و انرژی منفی این است که باعث می‌شوند یک کرمچاله، قابل عبور شود و امکان انجام سفر دوطرفه از درون آن، بدون نگرانی از افق رویداد فراهم آید. در حقیقت گروه تورن دریافت که سفر از درون این ماشین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

زمان، احتمالاً در مقایسه با سفری معمولی با هواپیما کم خطرتر است.

با این حال، مشکل این است که ماده عجیب (یا همان ماده منفی) دارای ویژگی‌های غیرمتعارفی است. برخلاف ضدماده (که می‌دانیم وجود دارد و در میدان گرانش زمین مانند ماده معمولی سقوط می‌کند)، ماده منفی بالا می‌رود و بنابراین، به‌دلیل اثر نیروی ضد گرانش، در میدان گرانش زمین شناور می‌شود. این ماده به‌وسیله ماده معمولی و دیگر مواد منفی دفع می‌شود. یعنی حتی اگر این ماده وجود داشته باشد، یافتن آن در طبیعت بسیار دشوار است. زمانی که کره زمین برای اولین‌بار ۴/۵ میلیارد سال پیش شکل گرفت، مسلماً تمام ماده منفی روی کره زمین به اعماق فضا پرواز کرده‌اند. بنابراین احتمال دارد که ماده منفی تنها در فضا، به دور از هر سیاره‌ای، شناور باشد. (احتمالاً ماده منفی هیچ‌گاه با یک ستاره یا سیاره در حال عبور برخورد نخواهد کرد، زیرا به‌وسیله ماده معمولی دفع می‌شود.)

با اینکه ماده منفی تاکنون هرگز دیده نشده است (و به احتمال زیاد اصلاً وجود ندارد)، ولی از نظر فیزیکی احتمال وجود انرژی منفی هست. در سال ۱۹۳۳، هنریک کاسیمیر نشان داد که دو صفحه فلزی موازی بدون بار می‌توانند انرژی منفی ایجاد کنند. به‌طور معمول انتظار می‌رود که دو صفحه، به‌دلیل عدم وجود بار الکتریکی، ساکن باقی بمانند. با این حال، کاسیمیر نشان داد که نیروی جاذبه بسیار کوچکی بین این دو صفحه فلزی موازی بدون بار وجود دارد. در سال ۱۹۴۸، موفق شدند این نیروی بسیار کوچک را اندازه‌گیری کنند و به‌این‌ترتیب مشخص شد که انرژی منفی واقعیت دارد. اثر کاسیمیر[1]، به ویژگی عجیبی از خلأ مربوط می‌شود. طبق نظریه کوانتوم، فضای تهی، انباشته از «ذرات مَجازی» است که از هیچ به‌وجود آمده و از بین می‌روند. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، این انحراف از اصل بقای انرژی را امکان‌پذیر می‌کند. این اصل امکان نقض قوانین کلاسیک را، مادامی که بسیار مختصر و موجز رخ دهند، فراهم می‌آورد. به‌عنوان مثال، بر اساس اصل عدم قطعیت، احتمال مشخص کوچکی دارند که الکترون و آنتی‌الکترون، از هیچ

1. Casimir effect

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

چیز ایجاد شوند، سپس یکدیگر را خنثی کرده و از بین بروند. به‌دلیل اینکه صفحات فلزی بسیار به‌هم نزدیک هستند، این ذرات مجازی نمی‌توانند به‌راحتی بین این دو صفحه وارد شوند. بنابراین ذرات مجازی بیشتری در اطراف صفحات در مقایسه با فضای بین آن‌ها وجود دارد و این امر نیرویی درونی ایجاد می‌کند که باعث رانده شدن خفیف صفحات موازی به داخل می‌شود. این اثر در سال ۱۹۹۶ به‌وسیله استیون لاموركس در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس اندازه‌گیری شد. نیروی جاذبه‌ای که او اندازه‌گیری کرد بسیار کوچک بود (برابر با یک سی هزارم وزن یک مورچه). هرچه فاصله بین دو صفحه موازی کم‌تر باشد، نیروی جاذبه بیشتر خواهد بود.

بنابراین، ماشین زمانی که تورن تصور کرده بود، می‌تواند به‌این‌ترتیب کار کند. یک تمدن پیشرفته می‌تواند از دو صفحه موازی که در فاصله بسیار اندکی از هم قرار دارند، استفاده کند. این صفحات موازی می‌توانند به صورت یک کره قرار بگیرند، طوری که کره دارای یک پوسته بیرونی و یک پوسته درونی باشد. سپس دو تا از این کره‌ها ساخته می‌شود و به نحوی یک کرمچاله بین آن‌ها قرار می‌گیرد، بدین ترتیب تونلی در فضا دو کره را به‌هم ارتباط می‌دهد. حال هرکدام از کره‌ها شامل یکی از دهانه‌های کرمچاله هستند.

به‌طور معمول، زمان برای هر دو کره به‌طور هماهنگ در جریان است. اما اگر یکی از کره‌ها را درون موشکی قرار دهیم که با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت کند، زمان برای آن موشک آهسته‌تر خواهد گذشت و بنابراین دو کره دیگر از نظر زمانی هماهنگ نخواهند بود. ساعت درون موشک بسیار آهسته‌تر از ساعت روی کره زمین ضربان خواهد داشت. در این صورت، اگر فردی از زمین به درون کره بپرد، ممکن است به دهانه کرمچاله مکیده شده و در زمانی در گذشته به موشک برسد. (فراموش نکنید که این ماشین زمان نمی‌تواند شما را به زمانی قبل از ساخته شدن خود ماشین باز گرداند.)

مشکلات مربوط به انرژی منفی

گرچه راه حل تورن، زمانی که مطرح شد هیجان زیادی را ایجاد کرد ولی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ساختن آن حتی توسط تمدنی پیشرفته، با موانعی جدی روبروست. اولین مشکل تهیه مقادیر زیاد انرژی منفی است که کاملاً نایاب است. این نوع کرمچاله به مقادیر زیاد انرژی منفی وابسته است تا دهانه‌اش باز بماند. اگر انرژی منفی از طریق اثر کاسیمیر تهیه شود، مقدارش واقعاً اندک است و در این صورت اندازه کرمچاله حتی از ابعاد اتم نیز بسیار کوچک‌تر خواهد بود. به‌این‌ترتیب سفر از درون چنین کرمچاله‌ای غیرممکن است. علاوه بر اثر کاسیمیر، منابع دیگری نیز برای تولید انرژی منفی وجود دارند. اما کارکردن تقریباً با تمام آن‌ها بسیار مشکل است. به‌عنوان مثال، دو فیزیکدانان به نام‌های پُل دیویس و استفان فولینگ نشان داده‌اند آئینه‌ای که با سرعت حرکت می‌کند، می‌تواند انرژی منفی ایجاد کند که در جلوی آئینه حین حرکت انباشته می‌شود. متأسفانه برای به‌دست آوردن انرژی منفی از این روش، باید آئینه را با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت داد. به‌علاوه، در این حالت نیز همانند اثر کاسیمیر انرژی منفی ایجاد شده بسیار ناچیز خواهد بود.

روش دیگر استخراج انرژی منفی، استفاده از پرتوی لیزر پر قدرت است. در میان حالت‌های انرژی لیزر، تعدادی «حالت فشرده» وجود دارند که در آن‌ها انرژی مثبت و منفی با هم یافت می‌شوند. با این حال، ایجاد این اثر نیز بسیار دشوار است. یک پالس معمولی از انرژی منفی ممکن است به اندازه ثانیه بطول انجامد، که به‌دنبال آن پالسی از انرژی مثبت قرار دارد. علیرغم دشواری بسیار، جداسازی حالت‌های انرژی منفی از مثبت امکان‌پذیر است. در این مورد در بخش دوم بیشتر بحث می‌کنم.

و نهایتاً، یک سیاهچاله نیز در نزدیکی افق رویداد خود، دارای انرژی منفی است. همان‌طور که ژاکوب بِکنشتاین و استیون هوکینگ نشان دادند، یک سیاهچاله کاملاً سیاه نیست و به آهستگی انرژی از دست می‌دهد. به این دلیل که اصل عدم قطعیت، امکان تونل زنی تابش را از درون سد عظیم گرانش یک سیاهچاله فراهم می‌آورد. ولی از آنجا که یک سیاهچاله در حال تبخیر انرژی از دست می‌دهد، با گذشت زمان افق رویداد به‌تدریج کوچک‌تر می‌شود. اغلب، اگر ماده مثبت (مثل یک ستاره) درون یک سیاهچاله پرتاب

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

شود، افق رویداد گسترده‌تر می‌شود. اما اگر ماده منفی درون سیاهچاله پرتاب کنیم، افق رویداد آن کوچک‌تر خواهد شد. بنابراین تبخیر سیاهچاله، نزدیک افق رویداد انرژی منفی ایجاد می‌کند. (برخی عقیده دارند که برای به‌دست آوردن انرژی منفی می‌توان دهانه کرمچاله را در نزدیکی افق رویداد قرار داد. با این حال، دستیابی به این انرژی منفی بسیار سخت و خطرناک است، چرا که باید خیلی به افق رویداد نزدیک شویم.)

هوکینگ نشان داده است که به‌طور کلی، برای پایدار کردن راه حل‌های کرمچاله‌ای به انرژی منفی نیاز داریم. دلیل آن بسیار ساده است. معمولاً، انرژی مثبت می‌تواند منجر به ایجاد دهانه کرمچاله شود که ماده و انرژی را متمرکز می‌کند. به‌این‌ترتیب، پرتوهای نور با ورود به دهانه کرمچاله، همگرا می‌شوند. اگر این پرتوهای نوری از طرف دیگر خارج شوند، باید جایی در مرکز کرمچاله از هم دور شده یا به عبارتی واگرا شوند. این امر تنها در حضور انرژی منفی امکان‌پذیر است. به‌علاوه انرژی منفی، دفع کننده است و برای جلوگیری از فروپاشی کرمچاله بر اثر نیروی گرانش، ضروری است. بنابراین، کلید ساخت یک ماشین زمان یا یک کرمچاله می‌تواند یافتن مقادیر کافی انرژی منفی برای باز و پایدار نگه داشتن کرمچاله باشد. (تعدادی از فیزیکدانان نشان داده‌اند که وجود انرژی منفی، در حضور میدان‌های شدید گرانش تقریباً شایع است. پس شاید روزی بتوان از انرژی منفی گرانشی برای به‌کار انداختن ماشین زمان استفاده کرد.)

مانع دیگری در ساخت چنین ماشین زمانی وجود دارد: کجا می‌توان یک کرمچاله یافت؟ تورن به این حقیقت استناد کرد که کرمچاله‌ها در آنچه اسفنج فضا-زمان نامیده می‌شود، به‌طور طبیعی به‌وجود می‌آیند. این امر به سوآلی باز می‌گردد که فیلسوف یونانی زِنون، بیش از ۲۰۰۰ سال پیش مطرح کرده بود: کوچک‌ترین مسافتی که می‌توان پیمود چقدر است؟

زنون از نظر ریاضی ثابت کرد که عبور از عرض یک رودخانه غیرممکن است. او ابتدا بیان کرد که مقطع عرضی یک رودخانه را می‌توان به بینهایت نقطه تقسیم کرد. اما از آنجا که بینهایت زمان نیاز است تا از بی‌نهایت نقطه

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

عبور کنیم، بنابراین پیمودن عرض رودخانه غیرممکن است. به‌این‌ترتیب، حرکت اجسام کلاً غیرممکن بود. (دو هزار سال زمان لازم بود تا ریاضیات پیشرفته از راه برسد و سرانجام این معما حل شود. می‌توان نشان داد که تعداد نامحدودی نقطه را می‌توان در مقدار محدودی زمان پیمود و بالاخره حرکت را از نظر ریاضی امکان‌پذیر شد.)

جان ویلر از پرینستون، معادلات اینشتین را برای یافتن کوچک‌ترین مسافت ممکن، باز بینی کرد. ویلر دریافت در فواصل فوق‌العاده کوچک در مرتبه طول پلانک (سانتیمتر)، نظریه اینشتین پیش‌بینی می‌کند که انحناء فضا می‌تواند کاملاً بزرگ باشد. به بیان دیگر، در طول پلانک، فضا اصلاً صاف نیست و خمیدگی‌های شدیدی دارد؛ یعنی پیچ خورده و «حباب آلود» است. فضا متلاطم و مملو از حبابهای کوچکی است که از خلأ بیرون می‌جهند و سریعاً از بین می‌روند. در فواصل کوچک، حباب‌های فضا-زمان حتی در فضای خالی دائماً در حال جوشش هستند که در واقع کرمچاله‌های کوچک و جهان‌های نوزادند. به‌طور معمول، «ذرات مجازی»، شامل جفت‌های الکترون و آنتی‌الکترون، هر لحظه به‌وجود می‌آیند و محو می‌شوند. اما در فاصله پلانک، ممکن است حباب‌های کوچکی که هر کدام یک جهان کامل یا یک کرمچاله هستند از خلأ بیرون بجهند و سپس ناپدید شوند. جهان ما ممکن است با یکی از همین حباب‌های کوچک آغاز شده باشد که در اسفنج فضا-زمان شناور بوده و ناگهان، به دلایلی که هنوز نمی‌دانیم، متورم شده است.

با دانستن این موضوع که کرمچاله‌ها به‌طور طبیعی در این حباب‌ها یافت می‌شوند، تورن اندیشید که یک تمدن پیشرفته می‌تواند به نوعی کرمچاله‌ها را از درون این اسفنج بیرون آورد، سپس آن‌ها را با کمک انرژی منفی گسترش داده و پایدار سازد. اگرچه این فرایند بسیار دشوار خواهد بود، اما تحقق آن، در قلمرو قوانین فیزیک امکان‌پذیر است.

ماشین زمان تورن به لحاظ نظری امکان‌پذیر است و از نظر مهندسی ساخت آن بسیار مشکل به‌نظر می‌رسد. مسئله دیگری نیز وجود دارد: آیا موضوع سفر در زمان هیچ‌یک از قوانین بنیادین فیزیک را نقض می‌کند؟

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

جهانی در اتاق خواب شما

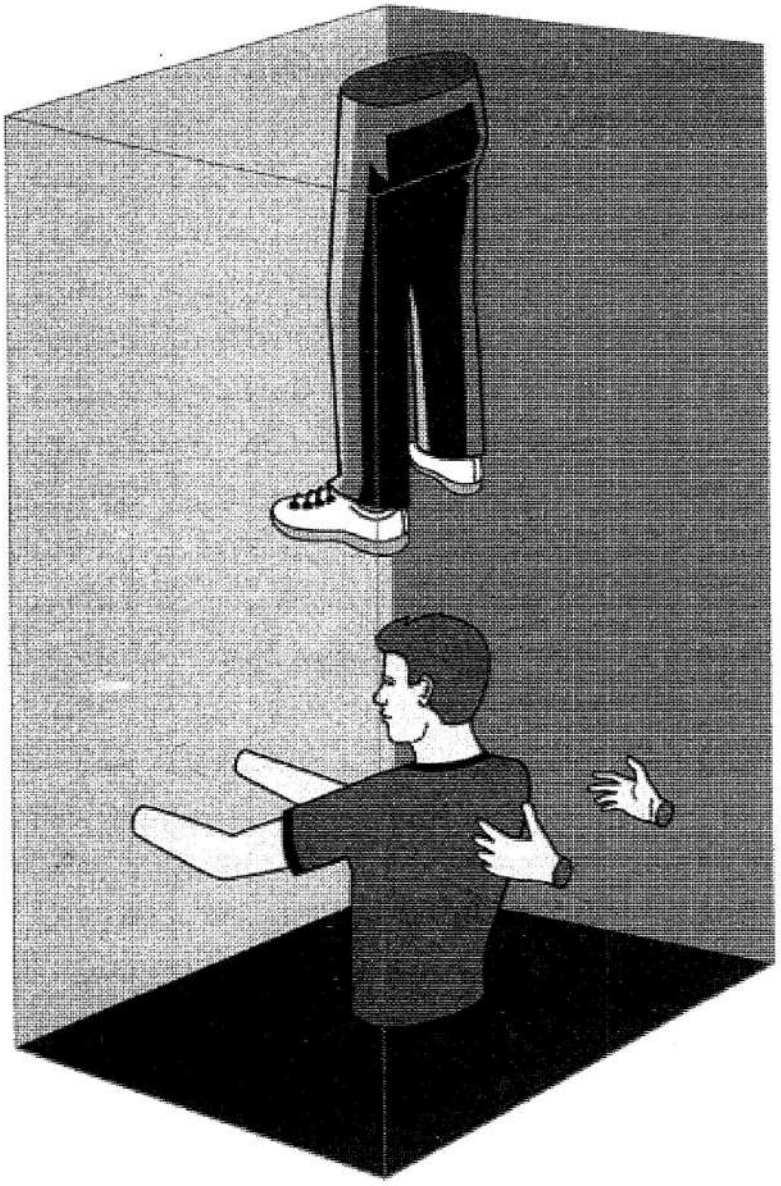
در سال ۱۹۹۲، استیون هوکینگ تلاش کرد تا یکبار و برای همیشه به مسئله سفر در زمان پاسخ دهد. او ذاتاً با ایده سفر در زمان مخالف بود؛ اگر سفر در زمان، به‌راحتی پیک نیک آخر هفته بود، باید امروز شاهد توریست‌هایی از آینده می‌بودیم که به ما خیره شوند و از ما عکس بگیرند.

اما فیزیکدانان اغلب از رمان حماسی تی اِچ وایت، پادشاه اول و آخر اقتباس می‌کنند. در این رمان، جامعه‌ای از مورچگان عقیده دارند: «هرچیزی که ممنوع نیست، الزامی است.» به بیان دیگر، اگر اصلی اساسی در فیزیک وجود ندارد که سفر در زمان را ممنوع کند، بنابراین سفر در زمان ضرورتاً از نظر فیزیکی امکان‌پذیر خواهد بود. (دلیل این مسئله اصل عدم قطعیت است. چیزی اتفاق نمی‌افتد که وقوعش ممنوع باشد و گرنه اگر به اندازه کافی صبر کنیم، تحولات و افت و خیزهای کوانتومی به‌تدریج آن را عملی می‌کنند.) در پاسخ به این مسئله، استیون هوکینگ «فرضیه حفاظت از گاهشماری» را مطرح کرد، که با جلوگیری از سفر در زمان، از تاریخ محافظت می‌کرد. برطبق این فرضیه، سفر در زمان به این دلیل که اصول فیزیکی خاصی را بر هم می‌زند، امکان‌پذیر نیست.

از آنجا که کار با کرمچاله‌ها بسیار دشوار بود، هوکینگ استدلال خود را با بررسی یک جهان ساده شده آغاز کرد؛ جهانی که به‌وسیله چارلز مایسنر از دانشگاه مریلند، برای اولین‌بار کشف شده بود و تمام ملزومات سفر در زمان را در خود داشت. فضای مایسنر، فضایی آرمانی است که در آن به‌عنوان مثال، اتاق خواب شما به کل جهان تبدیل می‌شود. هر نقطه بر روی دیوار سمت چپ اتاق خواب شما، دقیقاً با نقطه متناظر آن بر روی دیوار سمت راست، یکسان است. به این معنی که اگر شما به سمت دیوار سمت چپ حرکت کنید، با دیوار برخورد نخواهید کرد، بلکه در عوض، به‌درون دیوار رفته و از دیوار سمت راست مجدداً بیرون می‌آئید. به بیان دیگر، دیوارهای چپ و راست به یکدیگر متصلند؛ به نوعی همانند یک استوانه.

همچنین، نقاط روی دیوارهای روبرو و پشت سر نیز به‌همین ترتیب با هم

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly



در یک فضای مایسنر، کل جهان در اتاق خواب شما واقع شده است. دیوارهای مقابل هم تماماً با یکدیگر یکسانند و در نتیجهٔ با وارد شدن از یک دیوار، از دیوار مقابل آن بیرون خواهید آمد. به‌طور مشابه، سقف نیز با کف اتاق یکسان است. فضای مایسنر اغلب به این دلیل مورد مطالعه قرار می‌گیرد که توپولوژی یک کرمچاله را دارد ولی از نظر ریاضیات کار با آن بسیار راحت‌تر است. اگر دیوارها حرکت کنند آنگاه در جهان مایسنر، امکان سفر در زمان به‌وجود می‌آید.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یکسانند؛ همان‌طور که نقاط روی سقف و کف اتاق. بنابراین در هر جهتی که حرکت کنید، از دیوار اتاق خواب عبور کرده و مجدداً به درون آن باز می‌گردید. راه فراری نیست. به بیان دیگر اتاق خواب شما، تمام جهان را شامل می‌شود. مسئله عجیب این است که اگر به دقت به دیوار سمت چپ بنگرید، خواهید دید که در حقیقت شفاف است و نسخه دیگری از اتاق خواب شما در طرف دیگر دیوار وجود دارد. در واقع، همزاد دقیقی از شما در اتاق خواب دیگری قرار دارد. اگرچه شما فقط می‌توانید پشت سر خود را ببینید و هرگز روی خود را نخواهید دید. اگر به بالا یا پایین بنگرید، در این حالت نیز نسخه دیگری را از خود خواهید دید. در حقیقت دنباله نامحدودی از «خود» را در مقابل، پشت سر، زیر و بالا خواهید دید.

برقراری ارتباط با خودتان بسیار دشوار است. هربار که سر بچرخانید تا چهره همزاد خود را شکار کنید، در می‌یابید که او نیز چرخیده است و بنابراین هرگز صورت او را نمی‌بینید. اما اگر اتاق به اندازه کافی کوچک باشد، ممکن است بتوانید دست خود را داخل دیوار برده، شانه همزاد خود را بگیرید. در این حالت متوجه می‌شوید که همزاد شما، از پشت شانه شما را گرفته است. همچنین می‌توانید دست چپ و راست خود را از اطراف به‌درون دیوارها برده و با گرفتن دست همزادان خود، دنباله نامحدودی از «خود» را که دستان یکدیگر را گرفته‌اید، ایجاد کنید. (پیشنهاد نمی‌کنم که سعی در آزار همزاد خود داشته باشید. اگر اسلحه‌ای بردارید و به همزاد مقابل خود نشانه روید، احتمالاً تغییر عقیده داده و از کشیدن ماشه صرفنظر می‌کنید، زیرا همزاد پشت سر شما اسلحه‌ای را در همان زمان به سمت شما نشانه رفته است.)

در فضای مایسنر، فرض کنید که دیوارها به سمت شما حرکت کنند. در این حالت اتفاق جالبی می‌افتد. فرض کنید که اتاق خواب در حال فشرده شدن است طوریکه دیوار سمت راست به آهستگی، با سرعت سه کیلومتر بر ساعت، به شما نزدیک شود. اگر در این حالت به سمت دیوار سمت چپ بروید، از درون دیوار متحرک سمت راست بیرون خواهید آمد، با این تفاوت

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

که سه کیلومتر بر ساعت به سرعت شما افزوده شده است. در واقع هربار که درون دیوار سمت چپ می‌روید، سرعتی برابر سه کیلومتر بر ساعت از طریق دیوار متحرک سمت راست به شما افزوده می‌شود. پس از تکرار این سفر به دور جهان، سرعتی افزاینده خواهید داشت تا اینکه به‌تدریج به سرعت نور نزدیک می‌شوید.

در نقطه بحرانی مشخصی، سرعت حرکت شما چنان زیاد می‌شود که در زمان به عقب خواهید رفت. در واقع می‌توانید نقاط پیشین را، در فضا-زمان ملاقات کنید. هوکینگ فضای مایسنر را به دقت مورد بررسی قرار داد. او دریافت که دیوارهای چپ و راست، از نظر ریاضی، درست با دو دهانه یک کرمچاله برابرند. به بیان دیگر، اتاق خواب شما درست شبیه یک کرمچاله است، دیوارهای چپ و راست یکی هستند؛ درست مشابه دو دهانه یک کرمچاله که آن‌ها نیز یکی هستند.

سپس او تاکید کرد که فضای مایسنر هم از نظر کلاسیک و هم از نظر مکانیک کوانتوم ناپایدار است. به‌عنوان مثال، اگر چراغی را روی دیوار سمت چپ روشن کنید، پرتو نور هر بار که از دیوار سمت راست بیرون می‌آید، انرژی دریافت می‌کند. پرتو نور دچار انتقال به آبی خواهد شد، به این معنی که انرژی می‌گیرد تا جائی که دارای انرژی‌بی‌نهایت شود که این غیرممکن است. یا اینکه پرتو نور چنان پرانرژی می‌شود که میدان گرانشی عظیمی ایجاد کرده منجر به فروپاشی اتاق خواب یا همان کرمچاله خواهد شد. بنابراین اگر بخواهید به درون کرمچاله بروید، از هم خواهید پاشید. همچنین می‌توان نشان داد به‌دلیل اینکه تابش می‌تواند به دفعات نامتناهی از درون دو دیوار عبور کند، چیزی به نام تانسور انرژی-اندازه حرکت که محتویات ماده و انرژی فضا را مشخص می‌کند، نامحدود می‌شود.

این امر از نظر هوکینگ، برای مسئله سفر در زمان به منزله کشتن از روی ترحم بود. تقویت اثرات کوانتومی تابش و نزدیک شدن آن به بی‌نهایت، یک واگرایی ایجاد می‌کند و منجر به مرگ مسافران زمان و بسته شدن کرمچاله می‌شود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

از آن زمان، مسئله واگرایی مطرح شده در مقاله هوکینگ بحث جالب توجهی را در ادبیات فیزیک برانگیخت و دانشمندان، با توجه به مسئله حفاظت از گاهشماری در موافقت یا مخالفت با آن موضع گرفتند. در حقیقت فیزیکدانان متعددی با انتخاب مناسب کرمچاله‌ها از طریق تغییر در ابعاد، طول و... به‌دنبال یافتن نقاط ضعف در استدلال هوکینگ بودند. آن‌ها دریافتند تانسور انرژی ـ اندازه حرکت فقط در برخی کرمچاله‌ها واگرا می‌شود ولی در بقیه به خوبی معین و مشخص است. فیزیکدان روسی سرگئی کراسنیکوف، مسئله واگرایی را برای انواع مختلفی از کرمچاله‌ها مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت: «هیچ دلیلی وجود ندارد مبنی بر اینکه ماشین زمان لزوماً ناپایدار است.»

جریان ایجاد شده، چنان در جهت مخالفت با هوکینگ به پیش رفت که حتی فیزیکدانی به نام لی ژینگ لی از پرینستون، مسئله حفاظت از ضدگاهشماری را مطرح کرد: «هیچ قانونی در فیزیک وجود ندارد که از ظهور منحنی‌های بسته‌ی شبه زمانی جلوگیری کند.»

در سال ۱۹۹۸، هوکینگ مجبور به کناره گیری شد. او نوشته است، «این حقیقت که تانسور انرژی ـ اندازه حرکت [در موارد مشخصی] واگرا نمی‌شود، نشان می‌دهد که واکنش بازگشت، حفاظت از گاهشماری را الزامی نمی‌کند.» معنای این سخن امکان‌پذیر بودن سفر در زمان نیست، بلکه بیان می‌کند که دانسته‌های ما هنوز ناکامل است. فیزیکدانی به نام مَتیو ویسر، عقیده دارد که شکست اظهارات هوکینگ «توجیهی برای علاقه‌مندان به سفر در زمان نیست، بلکه اشاره‌ای است به اینکه تصمیم در مورد مسئله حفاظت از گاهشماری نیاز به یک نظریه تکمیل شده برای گرانش کوانتومی[1] دارد.»

در حال حاضر، هوکینگ عقیده ندارد که سفر در زمان کاملاً غیرممکن است، بلکه می‌گوید شدیداً غیرمحتمل و غیرعملی است. احتمالات موجود به شدت بر ضد سفر در زمان هستند، اما کسی نمی‌تواند آن را کاملاً منتفی بداند. اگر کسی بتواند به‌گونه‌ای مقادیر زیادی انرژی مثبت و منفی تهیه کند و

1. Quantum gravity

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به‌علاوه مسئله پایداری را نیز حل کند، ممکن است سفر در زمان واقعاً امکان‌پذیر شود. (شاید دلیل اینکه ما شاهد حضور توریست‌هایی از زمان آینده نیستیم، این است که دورترین زمانی که آن‌ها می‌توانند به آن سفر کنند زمانی است که ماشین زمان در آن ساخته شده و شاید هم ماشین زمان هنوز ساخته نشده باشد.)

ماشین زمان گات

در سال ۱۹۹۱ جِی ریچارد گات سوم از پرینستون، جواب دیگری را برای معادلات اینشتین یافت که امکان سفر در زمان را فراهم می‌آورد. راه حل او بسیار جالب بود زیرا مسیری کاملاً متفاوت، بدون استفاده از اجرام در حال گردش، کرمچاله‌ها و انرژی منفی، پیش گرفته بود.

گات در سال ۱۹۴۷ در لوئیزویل کنتاکی متولد شد و هنوز هم به لهجه جنوبی صحبت می‌کند؛ شیوه‌ای که کمی در دنیای بی‌قاعدهٔ فیزیک نظری عجیب به‌نظر می‌رسد. شروع فعالیت او در علوم طبیعی، در زمان کودکی و با عضویت در یک گروه آماتوری نجومی اتفاق افتاد.

در دوره دبیرستان او در مسابقه معتبر جستجو برای استعدادهای علمی وستینگهاوس برنده شد و از آن زمان به‌عنوان رئیس هیات داوران با این انجمن همکاری داشته است. پس از فارغ‌التحصیلی از هاروارد در رشته ریاضی، او به پرینستون رفت و هنوز هم در آن مشغول به‌کار است.

در طول انجام تحقیقات در زمینه کیهان‌شناسی، به «ریسمان‌های کیهانی» علاقه‌مند شد. آن‌ها از اثرات انفجار بزرگ هستند و وجودشان در نظریه‌های متعددی پیش‌بینی شده است. ریسمان‌های کیهانی احتمالا پهنایی کم‌تر از یک هسته اتم، جرمی در حد یک ستاره و طولی برابر با میلیون‌ها سال نوری دارند. گات پاسخی برای معادلات اینشتین یافت که وجود ریسمان‌های کیهانی را امکان‌پذیر می‌ساخت. اما در مرحله بعد، در مورد این ریسمان‌های

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

کیهانی، به مسئله‌ای غیرمعمول برخورد کرد. اگر دو ریسمان کیهانی[1] را به سمت یکدیگر بفرستید، درست قبل از برخورد با هم، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان ماشین زمان استفاده کرد. در مرحله اول، او دریافت که اگر سفر دایره‌واری را به دور ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد، انجام دهید، فضا منقبض می‌شود و ویژگی‌های عجیبی از خود نشان می‌دهد. اگر دور چیزی بچرخیم و به نقطه شروع برگردیم، به اندازه ۳۶۰ درجه جابجا شده‌ایم. اما اگر یک موشک حول دو ریسمان کیهانی در حال برخورد یک دور بزند، کم‌تر از ۳۶۰ درجه حرکت کرده است، زیرا در این حالت فضا منقبض شده است. (این به‌دلیل وجود توپولوژی مخروطی است. اگر ما یک دور کامل به دور یک مخروط بچرخیم، خواهیم دید که کم‌تر از ۳۶۰ درجه جابجا شده‌ایم.) بنابر این با حرکت سریع به دور دو ریسمان می‌توانید از سرعت نور پیشی بگیرید (البته از نظر رصدگری در فاصله دور)، زیرا مسافت طی شده در مجموع کم‌تر از آنچه که انتظار می‌رود خواهد بود. این مسئله نسبیت خاص را نقض نمی‌کند، زیرا از نظر شما موشکتان هرگز از سرعت نور پیشی نمی‌گیرد.

این ادعا بدان معناست که اگر دور ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد سفر کنید، می‌توانید به گذشته بازگردید. گات به خاطر می‌آورد: «زمانی که این راه حل را یافتم، کاملاً هیجان زده بودم. در این راه حل، فقط از ماده با چگالی مثبت استفاده شده که با سرعتی کم‌تر از سرعت نور حرکت می‌کند. در مقایسه، پاسخ کرمچاله به ماده عجیب با چگالی انرژی منفی (ماده‌ای که وزن آن کم‌تر از هیچ است) نیاز دارد.»

اما انرژی مورد نیاز ماشین زمان فوق‌العاده زیاد است. گات می‌گوید: «برای سفر به گذشته، به ریسمان‌های کیهانی، با جرم واحد طول برابر با حدود ۱۰ میلیون میلیارد تن در سانتیمتر که هرکدام با سرعتی برابر با حداقل ۹۹/۹۹۹۹۹۹۹۶ درصد سرعت نور در جهات مخالف هم حرکت کنند، نیاز داریم. در جهان، پروتون‌های پر انرژی وجود دارند که حداقل با این سرعت حرکت می‌کنند. بنابراین دستیابی به چنین سرعت‌هایی امکان‌پذیر است.»

---

1. Cosmic string

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

برخی منتقدین به این امر اشاره می‌کردند که خود ریسمان‌های کیهانی، با فرض اینکه اصلاً وجود داشته باشند، بسیار به ندرت یافت می‌شوند و در نتیجه احتمال یافتن ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد نیز، بسیار بسیار کم خواهد بود. بنابراین گات بیان کرد که یک تمدن پیشرفته ممکن است روزی یک ریسمان کیهانی را در فضا یافته و با استفاده از فضاپیماهای غول‌پیکر و ابزار فضایی، بتواند ریسمان را به صورت حلقه مستطیل شکل که کمی خم شده است، درآورد (شبیه به صندلی راحتی). او همچنین فرض کرد که این حلقه ممکن است تحت گرانش خود فرو بپاشد، به نحوی که دو قطعه صاف ریسمان کیهانی، با سرعتی نزدیک به سرعت نور از کنار یکدیگر بگذرند و به‌این‌ترتیب یک ماشین زمان ساخته شود. با این وجود گات بیان می‌کند که: «حلقه‌ای از ریسمان کیهانی، آنقدر بزرگ که بتوانید با یک چرخش دور آن، یک سال به عقب برگردید، باید بیش از نصف ماده ـ انرژی یک کهکشان کامل را داشته باشد.»

پارادوکس‌های زمان

دلیل دیگری که فیزیکدانان را از قبول ایده سفر در زمان باز می‌داشت، وجود پارادوکس‌های زمان بود. به‌عنوان مثال، اگر شما به گذشته سفر کنید و پدر و مادر خود را قبل از تولدتان به قتل برسانید، در این صورت تولد شما دیگر غیرممکن خواهد بود. بنابراین هرگز نمی‌توانید به گذشته سفر کنید، تا پدر و مادر خود را به قتل برسانید. این مسئله از این جهت اهمیت دارد که علم براساس ایده‌هایی که منطقاً با هم سازگار باشند، شکل می‌گیرد. وجود یک پارادوکس زمان موثق، کافی است تا بتوان سفر در زمان را بکلی رد کرد.

پارادوکس‌های زمان را می‌توان به گروه‌های متعددی تقسیم کرد:

پارادوکس پدربزرگ. در این پارادوکس گذشته را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهیم که اکنون را غیرممکن می‌کند. به‌عنوان مثال، با بازگشت به گذشته بسیار دور، در زمان دایناسورها، تصادفاً پای خود را بر روی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

یک پستاندار خزدار کوچک که نیای اصلی انسان است، می‌گذارید. با از بین بردن اجداد خود، مسلماً دیگر وجود نخواهید داشت.

پارادوکس اطلاعات. در این پارادوکس، انتقال اطلاعات از آینده به گذشته، عدم وجود منشاء مشخصی برای اطلاعات را نتیجه می‌دهد. به‌عنوان مثال، فرض کنید که دانشمندی یک ماشین زمان بسازد و سپس به گذشته رفته تا اسرار سفر در زمان را به خودش در زمان جوانی منتقل کند. به‌این‌ترتیب معمای سفر در زمان منشاء و آغازی‌نخواهد داشت، زیرا ماشین زمانی که دانشمند جوان خواهد داشت، به‌وسیله خودش ساخته نشده بلکه به‌وسیله خود پیرترش به او داده شده است.

پارادوکس بیلکر. در این پارادوکس، فرد می‌داند که آینده چگونه خواهد بود و کاری می‌کند که آینده را غیرممکن سازد. به‌عنوان مثال، ماشین زمانی می‌سازید که شما را به آینده ببرد و می‌بینید که تقدیر شما بر این بوده است که با زنی با نام جِین ازدواج کنید، با این وجود عمداً تصمیم می‌گیرید که در عوض با هلن ازدواج کنید و به‌این‌ترتیب آینده خود را غیرممکن می‌کنید.

پارادوکس جنسی. در این پارادوکس، شما پدر خود می‌شوید که از نظر بیولوژیکی پدیده‌ای غیرممکن است. در داستانی که به‌وسیله فیلسوف بریتانیایی، جاناتان هریسون نوشته شده است، قهرمان داستان نه تنها پدر خود می‌شود، بلکه خود را نیز می‌خورد. در داستان کلاسیک رابرت هِینلِین تمام شما زامبی‌ها، قهرمان داستان، هم‌زمان مادر، پدر، دختر و پسر خود است، به عبارتی شجره فامیلی درون خودش است. (حل معمای پارادوکس جنسی واقعاً ظریف و نیازمند آگاهی در مورد سفر در زمان و مکانیک DNA است.)

ایزاک آسیموف در کتاب انتهای ابدیت، نیرویی به نام «پلیس زمان» را به

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

تصویر می‌کشد که مسئول جلوگیری از وقوع این پارادوکس‌هاست. مجموعه فیلم‌های ترمیناتور، به پارادوکس اطلاعات مربوط می‌شود. دانشمندان ریزتراشه‌ای را مورد مطالعه قرار می‌دهند که روباتی از آینده به اکنون آورده است و توسط آن نسلی از روبات‌ها را می‌سازند که هوشمندند و بر جهان مسلط می‌شوند. به بیان دیگر این اَبرروبات‌ها هرگز به‌وسیله یک مخترع طراحی نشده‌اند بلکه به سادگی از قطعه بجا مانده از یک روبات آینده حاصل آمده‌اند. در فیلم بازگشت به آینده، مایکل جِی فاکس برای جلوگیری از وقوع پارادوکس پدربزرگ مبارزه می‌کند. او در سفر به گذشته، با مادر خود در سن نوجوانی برخورد می‌کند که فوراً عاشق پسرش می‌شود. ولی اگر مادر او، به پیشنهاد پدر آینده فاکس جواب منفی بدهد، وجود فاکس به خطر خواهد افتاد.

درست است که فیلم‌نامه‌نویسان، به‌منظور ساختن فیلم‌های تاثیرگذار هالیوودی، عمداً قوانین فیزیک را زیرپا می‌گذارند، اما در مجامع فیزیکی این پارادوکس‌ها بسیار جدی گرفته می‌شوند. هر گونه راه حلی که برای این پارادوکس‌ها ارائه می‌شود، باید با نظریه کوانتوم و نسبیت سازگار باشد. به‌عنوان مثال برای سازگاری با نسبیت، رودخانه زمان نمی‌تواند مسدود شود. یعنی شما نمی‌توانید بر روی رودخانه زمان سد بزنید. زمان در نسبیت عام، به صورت یک سطح پیوسته و هموار توصیف می‌شود و نمی‌توان آن را پاره کرد. ممکن است توپولوژی خود را تغییر دهد، ولی نمی‌تواند متوقف شود. یعنی، اگر قبل از تولد، پدر و مادر خود را به قتل برسانید، نتیجه آن تنها این نیست که شما از صحنه روزگار ناپدید می‌شوید، بلکه این مسئله قوانین فیزیک را نقض خواهد کرد.

در حال حاضر فیزیکدانان، حول دو راه حل ممکن برای پارادوکس‌های زمان گرد آمده‌اند. نخست، کیهان‌شناس روسی، ایگور نوویکوف، معتقد است که ما مجبوریم به‌گونه‌ای عمل کنیم که هیچ پارادوکسی رخ ندهد. دیدگاه او مکتب قائمیت بالذات[1] نامیده می‌شود. او عقیده دارد اگر رودخانه زمان

1. self-consistency school

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

به‌آرامی چرخیده و گردابی بسازد، دستی نامرئی، به هر ترتیبی، مداخله کرده و در صورتیکه بخواهیم با سفر به گذشته، منجر به ایجاد یکی از این پارادوکس‌ها شویم، جلوی ما را می‌گیرد. اما از طرفی دیدگاه نوویکوف، تناقضاتی را با مسئله اختیار ایجاد می‌کند. نوویکوف عقیده دارد که قانون ناشناخته‌ای در فیزیک وجود دارد که جلوی هر عملی را که آینده را تغییر دهد، می‌گیرد (مثل کشتن پدر و مادر یا جلوگیری از تولد خود). او نوشته است «ما نمی‌توانیم مسافری را به باغ بهشت بفرستیم، تا حوا را از چیدن سیب منصرف کند.»

این نیروی مرموز که ما را از تغییر گذشته و درنتیجه ایجاد پارادوکس، باز می‌دارد چیست؟ او می‌نویسد: «وجود چنین جبری بر اختیار ما، غیرطبیعی و مرموز است. با این حال، نمی‌توان وجود این دو را به موازات هم منتفی دانست.» او همچنین می‌نویسد: «به‌عنوان مثال، شاید من بخواهم بدون کمک هیچ ابزاری روی سقف راه بروم. قانون گرانش مرا از انجام این‌کار باز می‌دارد؛ اگر سعی کنم، پایین می‌افتم، بنابراین اختیار من محدود می‌شود.»

از طرف دیگر، زمانی که اجسام بی‌جان (بدون هیچ اختیاری) به گذشته منتقل شوند، امکان وقوع پارادوکس‌های زمان باز هم وجود خواهد داشت. فرض کنیم که مسلسل را به سال ۳۳۰ قبل از میلاد، درست قبل از جنگ تاریخی بین اسکندر کبیر و داریوش سوم از ایران، بفرستید و دستور استفاده از آن را هم ضمیمه کنید. در آن صورت به احتمال زیاد تمام تاریخ اروپا بعد از آن زمان تغییر می‌کرد. (و ممکن بود اکنون به‌جای زبان اروپایی، خود را در حال صحبت به زبان فارسی می‌یافتیم.)

در حقیقت، حتی کوچک‌ترین اختلال در گذشته می‌تواند پارادوکس‌های غیرمنتظره‌ای را در زمان حاضر پدید آورد. به‌عنوان مثال، در نظریه آشوب از «اثر پروانه ای» استفاده می‌شود. در اوقات بحرانی شکل‌گیری آب و هوای زمین، حتی لرزش بال‌های یک پروانه اعوجاجاتی را ایجاد می‌کند که می‌تواند تعادل بین نیروها را بر هم بزند و طوفان‌های قدرتمندی ایجاد کند. حتی کوچک‌ترین اجسام بیجانی که به گذشته فرستاده شوند، ناچار گذشته را به

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

صورت غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌دهند و نتیجه آن، یک پارادوکس زمان است.

روش دوم برای حل پارادوکس زمان این است که رودخانه زمان به‌آرامی دو شاخه شود و به‌این‌ترتیب دو دنیای مجزا را شکل دهد. به بیان دیگر، اگر قرار بود به گذشته سفر کنید و قبل از تولد خود پدر و مادرتان را هدف گلوله قرار دهید، احتمالاً در جهان دیگری، افرادی را که از نظر ژنتیکی درست شبیه پدر و مادر شما هستند خواهید کشت؛ جهانی که در آن شما هرگز متولد نخواهید شد. اما پدر و مادر شما در جهان اصلی آسیبی نخواهند دید

این فرضیه دوم، «نظریه جهان‌های بی‌شمار» نامیده می‌شود؛ این ایده که تمام جهان‌های کوانتومی ممکن، احتمالاً وجود دارند، این امر واگرایی هوکینگ را منتفی می‌کند زیرا در این حالت تابش مثل فضای مایسنر مکرراً وارد کرمچاله نمی‌شود، بلکه فقط تنها یک بار از آن عبور می‌کند. هربار از داخل کرمچاله می‌گذرد، وارد جهان جدیدی‌می‌شود. و این پارادوکس شاید به عمیق‌ترین پرسش در نظریه کوانتوم منجر شود: چگونه یک گربه می‌تواند در یک زمان، هم مرده و هم زنده باشد؟

برای پاسخ به این سوآل، فیزیکدانان مجبور بوده‌اند به دو راه حل بیندیشند: یا نوعی هوشیاری و خرد کیهانی وجود دارد که ناظر ماست، یا بی‌نهایت جهان کوانتومی وجود دارد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فصل ۶ جهان‌های کوانتومی موازی

به جرأت می‌توانم بگویم هیچ کس مکانیک کوانتومی را نمی‌فهمد.

ـ ریچارد فاینمَن

هر کس که از شنیدن نظریه کوانتوم حیرت زده نشود، آن را نفهمیده است.

ـ نیلز بور

پیشرانه بیکرانِ عدم احتمال[1]، روش جدید خارق‌العاده‌ای است تا فواصل بی‌کران بین ستاره‌ای را به آسانی تنها در کسر ناچیزی از ثانیه، بدون تمام آن ولگردی‌های کسل کننده در ابرفضا بپیماییم.

ـ داگلاس آدامز

در رمان پرفروش علمی تخیلی راهنمای مسافران مجانی کهکشان نوشته داگلاس آدامز، قهرمان داستان، برحسب تصادف، به مبتکرانه‌ترین روش برای سفر به ستارگان دست می‌یابد. او برای عبور از پهنه فضای بین کهکشانی، به جای استفاده از کرمچاله‌ها، آبَر پیشرانه‌ها یا دروازه‌های ورود به ابعاد دیگر، به فکر استفاده از اصل عدم قطعیت می‌افتد. اگر به‌گونه‌ای بتوانیم احتمال رویدادهای غیرمحتمل مشخصی را کنترل کنیم، در این صورت هر چیزی،

1. The Infinite Improbability Drive

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حتی حرکت با سرعتی بیشتر از سرعت نور یا حتی سفر در زمان امکان‌پذیر خواهد شد. دسترسی به ستاره‌های دوردست، تنها درعرض چند ثانیه، بسیار بعید به‌نظر می‌رسد. اما اگر کسی بتواند احتمالات کوانتومی را به‌دلخواه خود کنترل کند، در این صورت حتی غیرممکن نیز، ممکن خواهد شد.

اساس نظریه کوانتوم بر این ایده بنا شده است که تمام رویدادهای محتمل، هرچقدر عجیب یا احمقانه که باشند، احتمال دارد روزی اتفاق بیفتند. این ایده، به نوبه خود، در قلب نظریه جهان تورمی قرار دارد؛ زمانی که انفجار بزرگ اولیه رخ داد، تغییر حالتی کوانتومی صورت گرفت که در آن ناگهان جهان به‌مقدار بسیار زیادی متورم شد. به‌این‌ترتیب، جهان ما می‌تواند از یک جهش کوانتومی غیرمحتمل بیرون جهیده باشد. آدامز به شوخی می‌گفت: ما فیزیکدان‌ها دریافتیم که اگر به‌گونه‌ای بتوانیم این احتمالات را کنترل کنیم، می‌توانیم شاهکارهایی خلق کنیم که با جادوگری فرقی نداشته باشند. اما در حال حاضر تغییر دادن احتمال رویدادها، بسیار فراتر از فناوری ما است.

من گاهی در دانشگاه، از دانشجویان خود در دوره دکترا، پرسش‌های ساده‌تری می‌پرسم. مثلاً اینکه چقدر احتمال دارد ناگهان محو شده و سپس دوباره در طرف دیگر دیوار ظاهر شوند. بر اساس نظریه کوانتوم، احتمال کوچک ولی در عین حال قابل محاسبه‌ای وجود دارد که این اتفاق بیفتد. یا مثلاً احتمال اینکه ما در اتاق خود از هم پاشیده و بر روی مریخ دوباره سرهم شویم. بر اساس نظریه کوانتوم، این امکان وجود دارد که انسان ناگهان بر روی مریخ ظاهر شود. البته این احتمال چنان کوچک است که برای رخ دادن آن باید زمانی بیشتر از حتی عمر جهان صبر کنیم. در نتیجه در زندگی روزمره ما می‌توان چنین رویدادهای غیرمحتملی را نادیده گرفت. درحالی‌که در سطوح زیراتمی، چنین احتمالاتی برای عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی، رایانه‌ها و لیزرها بسیار تعیین‌کننده و حیاتی محسوب می‌شوند.

در حقیقت درون اجزاء رایانه شما الکترون‌ها به‌طور مرتب، شکل مادی خود را از دست داده و مجدداً در طرف دیگر دیوارها ظاهر می‌شوند. باید

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اذعان کرد که اگر امکان این وجود نداشت که یک الکترون در هر لحظه در دو مکان حضور داشته باشد، تمدن‌های مدرن کنونی از هم پاشیده می‌شدند. (مولکولهای بدن ما نیز بدون این اصل عجیب از هم فرو می‌پاشند. دو منظومه را در نظر بگیرید که در فضا با هم برخورد می‌کنند و هر دو از قوانین گرانش نیوتون پیروی می‌کنند. این دو منظومه در برخورد با یکدیگر به ترکیب آشفته‌ای از سیارات و خرده سیارک‌ها تبدیل می‌شوند. به‌طور مشابه، اگر اتم‌ها از قوانین نیوتون تبعیت کنند، هر بار که با یکدیگر برخورد می‌کنند متلاشی و از هم پاشیده خواهند شد. چیزی که دو اتم را در یک مولکول پایدار به یکدیگر قفل می‌کند، به این دلیل است که الکترون‌ها می‌توانند به‌طور هم‌زمان در مکان‌های متعددی حضور داشته باشند. به‌این‌ترتیب که با تشکیل ابر الکترونی، باعث مقید شدن اتم‌ها به یکدیگر می‌شوند. بنابراین دلیل اینکه چرا مولکول‌ها پایدارند و جهان از هم نمی‌پاشد، این است که الکترون‌ها در یک زمان می‌توانند در مکان‌های متعددی حضور داشته باشند.)

اما اگر الکترون‌ها بتوانند در حالات موازی، بین بودن و نبودن شناور باشند، چرا جهان نتواند اینگونه باشد؟ مگر نه اینکه جهان در مرحله‌ای از عمر خود حتی کوچک‌تر از یک الکترون بوده است. هربار که احتمال اعمال اصل کوانتوم را به جهان مطرح می‌کنیم، ناچاریم موضوع جهان‌های موازی را بررسی کنیم.

این دقیقاً همان احتمالی است که در داستان علمی تخیلی مرد ساکن قلعه بلند، نوشته فیلیپ کی دیک، مطرح می‌شود. در این کتاب، جهان دیگری وجود دارد که به‌دلیل رخ دادن رویدادی تعیین‌کننده، از جهان ما جدا شده است. هنگامی که در آن جهان، به سال ۱۹۳۳، پرزیدنت روزولت در سال اول ریاست جمهوریش با گلوله یک تروریست در دفتر کارش کشته می‌شود، تاریخ جهان تغییر می‌کند. گارنر، معاون رئیس جمهور، قدرت را در دست می‌گیرد و با اعمال سیاست‌های انزواطلبانه، در نهایت باعث تضعیف ارتش ایالات متحده می‌شود. به‌دلیل عدم آمادگی تسلیحاتی در حمله پرل هاربر و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ناتوانی در جبران خسارات وارده به ناوگان دریایی ایالات متحده، این کشور در سال ۱۹۴۷ مجبور به تسلیم در مقابل آلمان و ژاپن می‌شود. در نهایت کشور ایالات متحده به سه بخش تقسیم می‌گردد. به‌این‌ترتیب که رایش آلمان، ساحل شرقی و ژاپنی‌ها ساحل غربی را به تصرف در می‌آورند وفقط رشته‌کوه‌های راکی، بخش میانی صعب‌العبور، در وسط باقی می‌ماند. در این جهان موازی، فرد اسرارآمیزی براساس آیه‌ای از انجیل که مورد غضب نازی‌ها است، اقدام به نوشتن کتابی می‌نماید با نام خواب سنگین گِراس هاپِر. این کتاب در مورد جهان دیگری صحبت می‌کند که در آن روزولت ترور نشده و آمریکا و بریتانیا نازی‌ها را مغلوب می‌کنند. ماموریت قهرمان زن داستان این است که ببیند آیا جهان دیگری وجود دارد که در آن به‌جای استبداد و تبعیض نژادی، دموکراسی و آزادی مستولی گشته باشد.

کمربند شفق

دنیای کتاب مرد ساکن قلعه بلند و دنیای ما، تنها از طریق یک حادثه بسیار کوچک، یعنی گلوله یک تروریست، از هم جدا شده‌اند. به‌این‌ترتیب ممکن است جهان موازی دیگری، تنها به‌دلیل کوچک‌ترین رویداد ممکن ــ مثلاً رویداد کوانتومی برخورد یک پرتو کیهانی با یک ذره ــ از ما جدا شده باشد.

در قسمتی از سریال تلویزیونی کمربند شفق، مردی از خواب بیدار شده و متوجه می‌شود که همسرش او را نمی‌شناسد. همسر او فریاد می‌کشد و از او می‌خواهد قبل از اینکه به پلیس اطلاع دهد آنجا را ترک کند. پس از پرسه زدن در اطراف شهر، در می‌یابد که حتی دوستان صمیمی‌اش نیز او را نمی‌شناسند؛ به‌طوری‌که انگار هیچ وقت وجود نداشته است. در آخر به دیدن خانه پدری خود می‌رود. پدر و مادر او ادعا می‌کنند که هرگز قبلاً او را ندیده و هرگز پسری نداشته‌اند. او، بدون وجود دوستان، خانواده و خانه، بی‌هدف در شهر پرسه می‌زند تا در نهایت بر روی نیمکت پارک، مثل مردی بی‌خانمان، به خواب می‌رود. صبح روز بعد وقتی از خواب بیدار می‌شود، خود را در کمال آرامش در رختخواب کنار همسرش می‌بیند. در کمال تعجب

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

وقتی همسرش بلند می‌شود، مرد غافلگیر شده و در می‌یابد که او اصلاً همسرش نیست، بلکه زن غریبه‌ای است که هرگز قبلاً او را ندیده است.

آیا چنین داستان‌های عجیبی امکان دارند؟ شاید. اگر بازیگر نقش اول سریال کمربند شفق، چند سوآل کلیدی از مادرش می‌پرسید، شاید در می‌یافت که او یک سقط جنین داشته و هرگز فرزندی به دنیا نیاورده است. گاهی اوقات یک تک پرتو کیهانی، یا یک تک ذره از فضا، به DNA درون یک جنین عمیقاً ضربه زده و تحولی را سبب می‌شود که در نهایت منجر به سقط جنین می‌گردد. در چنین حالتی یک رویداد کوانتومی می‌تواند دو جهان را از یکدیگر جدا سازد؛ در یکی از این جهان‌ها شما به صورت یک شهروند معمولی زندگی می‌کنید، درحالی که در جهان دیگر همه چیز دقیقاً شبیه جهان اول است، بجز اینکه در این جهان شما هرگز متولد نشده‌اید.

جابجایی بین این جهان‌ها مطابق قوانین فیزیک رخ می‌دهد. ولی این جابجایی به شدت غیر محتمل است، یعنی احتمال رخ دادن آن عدد بسیار کوچکی است. همانگونه که می‌بینید، نظریه کوانتوم تصویری از جهان به ما می‌دهد که بسیار عجیب‌تر از آن چیزی است که اینشتین ارائه کرده است. در نسبیت، صحنه‌ای که بر روی آن به ایفای نقش می‌پردازیم، شاید از لاستیک درست شده باشد؛ به‌گونه‌ای که بازیگران در مسیرهای منحنی در طول صحنه حرکت می‌کنند، ولی به هر حال درست مشابه دنیای نیوتون، در دنیای اینشتین نیز بازیگران خطوطی از نمایشنامه را که قبلاً نوشته شده است، طوطی‌وار می‌خوانند. اما در یک نمایش کوانتومی، ناگهان بازیگران متن را به کنار انداخته و از خود شروع به خواندن می‌کنند. عروسک‌های خیمه شب بازی نخ‌های خود را پاره می‌کنند. به‌این‌ترتیب «اختیار» شکل می‌گیرد. بازیگران ممکن است از صفحه ناپدید شده و دوباره ظاهر شوند. حتی عجیب‌تر از این؛ ممکن است در یک زمان، در دو جا، حاضر باشند. بازیگران هنگام خواندن متن‌های خود، مطمئن نیستند کسی که با او صحبت می‌کنند ناگهان غیب نشده و در جای دیگری ظاهر نشود.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ذهن اعجوبه: جان ویلر

شاید به غیر از اینشتین و بور، هیچ کس بیشتر از جان ویلر با فراز و نشیب‌های نظریه کوانتوم دست به گریبان نشده است. آیا تمام حقیقت فیزیکی، تنها یک خیال باطل است؟ آیا جهان‌های موازی کوانتومی وجود دارند؟ درگذشته، ویلر قبل از اینکه ذهن خود را مشغول پارادوکس‌های پیچیده کوانتومی کند، از احتمالات کوانتومی در ساخت بمب هیدروژنی و اتمی استفاده کرد و در مطالعه سیاهچاله‌ها قدم پیش نهاد. آن‌طور که شاگرد او، رابرت فاینمَن گفته است، جان ویلر آخرین غول یا به عبارتی ذهن اعجوبه‌ای بود که با نتایج احمقانه نظریه کوانتوم دست به گریبان شد.

ویلر کسی بود که در سال ۱۹۶۷ در کنفرانسی در انستیتوی مطالعات فضایی گودارد ناسا در شهر نیویورک، پس از کشف اولین تپ اخترها، نام سیاهچاله را پیشنهاد کرد.

ویلر در سال ۱۹۱۱، در جکسون فیلد فلوریدا متولد شد. با اینکه پدر او یک کتابدار بود، ولی مهندسی در خون خانواده‌اش بود. سه تا از عموهای او مهندس معدن بودند و اغلب در کار خود از مواد منفجره استفاده می‌کردند. ایده استفاده از دینامیت او را شیفته کرده بود. او عاشق تماشای صحنه انفجار بود. (یک روز بدون رعایت موارد ایمنی، در حال آزمایش بر روی تکه‌ای دینامیت بود که ناگهان دینامیت در دستانش منفجر شد و در نتیجه بخشی از انگشت شست و نوک یک انگشت دیگرش را از دست داد. جالب است. اینشتین در زمان دانشجویی، انفجار مشابهی به‌دلیل بی‌دقتی در دستانش رِ- داد که چندین بخیه خورد.)

ویلر کودک باهوشی بود. او در حساب و دیفرانسیل استاد بود و هر کتابی را در مورد مکانیک کوانتومی، نظریه جدیدی که از اطراف در مورد آن چیزهایی شنیده بود، به سرعت می‌بلعید. در آن زمان در اروپا، این نظریه جدید به‌وسیله نیلز بور، وِرنِر هایزِنبِرگ و اِروین شِرودینگر در حال شکل‌گیری بود؛ نظریه‌ای که ناگهان اسرار اتم را فاش کرد. تنها چندین سال قبل از آن، پیروان فیلسوفی به نام اِرنست ماخ، با بیان این مطلب که اتم‌ها هرگز

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در آزمایشگاه مشاهده نشده‌اند و احتمالاً تخیلی هستند، وجود اتم‌ها را به سخره گرفته بودند. آن‌ها ادعا می‌کردند هر چیزی را که نتوان دید، احتمالاً وجود ندارد. فیزیکدان بزرگ آلمانی، لودویگ بولتسمان، کسی که قوانین ترمودینامیک را بیان کرد، در سال ۱۹۰۶ بیشتر به این دلیل که پس از طرح و توسعه مفهوم اتم با تمسخر مواجه شده بود، اقدام به خودکشی کرد.

سرانجام، بین سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۲۷، اسرار اتم‌ها سر از تاریکی بر آوردند. هرگز در تاریخ مدرن (بجز کار اینشتین در سال) ۱۹۰۵ کشفی با چنین ابعادی، در مدت زمانی چنین کوتاه مطرح نشده بود. ویلر تمایل داشت که سهمی در این انقلاب داشته باشد. اما او می‌دانست که ایالات متحده از علم روز فیزیک عقب است؛ حتی یک فیزیکدان در سطح جهانی بین دانشمندان آمریکایی وجود نداشت. بنابراین، مثل جی روبرت اوپنهایمر، ویلر نیز ایالات متحده را ترک و برای تحصیل در محضر نیلز بور به کپنهاگ سفر کرد.

آزمایش‌های قبلی بر روی الکترون‌ها نشان می‌دادند که آن‌ها هم رفتار ذره‌ای دارند هم رفتار موجی. سرانجام فیزیکدانان کوانتومی پرده از راز این دوگانی عجیب بین ذره و موج برداشتند. الکترون در رقص به دور اتم، به صورت یک ذره است، درحالی‌که یک موج عجیب آن را همراهی می‌کند. در سال ۱۹۲۵، فیزیکدان اتریشی اِروین شِرودینگر، معادله‌ای را مطرح کرد ــ معادله موج شرودینگر ــ که به دقت حرکت موج الکترون را توضیح می‌داد. این موج، که با حرف یونانی psi نمایش داده می‌شود، پیشگویی‌های دقیقی برای رفتار اتم‌ها ارائه می‌دهد. این معادله انقلابی را در فیزیک به پا کرد. ناگهان، تقریباً تنها با استفاده از اصول ابتدایی، کاوش درون اتم امکان‌پذیر گردید. جستجویی آغاز شد تا دریابیم که الکترون‌ها به چه ترتیب در مدارهای خود حرکت می‌کنند، چطور جابجا می‌شوند و چگونه اتم‌ها را در مولکول‌ها پایبند می‌کنند.

آن‌طور که فیزیکدان کوانتومی پُل دیراک گفته است، علم فیزیک به‌زودی باعث خواهد شد که علم شیمی تماماً به مهندسی محض تقلیل یابد. او بیان می‌دارد: «بنابراین قوانین فیزیکی پایه مورد نیاز برای صورتبندی ریاضی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

بخش بزرگتری از علم فیزیک و همین‌طور کل علم شیمی، کاملاً شناخته شده هستند و مشکل تنها این است که به‌کار گرفتن این قوانین منجر به شکل‌گیری معادلاتی می‌شود که حل آن‌ها بسیار پیچیده است.» با اینکه تابع psi بسیار توجه برانگیز بود، اما اینکه واقعاً بیانگر چه بود، هنوز در پرده ابهام قرار داشت.

بالاخره در سال ۱۹۲۸، فیزیکدانی به نام مَکس بورن این ایده را مطرح کرد، که تابع موج نشان‌دهنده احتمال وجود الکترون در هر نقطه دلخواه است. به بیان دیگر هرگز نمی‌توان با اطمینان جای دقیق الکترون را دانست؛ تنها می‌توان تابع موج آن را محاسبه کرد، که بیانگر احتمال وجود الکترون در آن نقطه است. بنابراین اگر فیزیک اتمی را بتوان به امواجی از احتمال وجود یک الکترون تقلیل داد، و اگر الکترون بتواند در یک زمان در دو جا حضور داشته باشد، بالاخره چگونه می‌توان تعیین کرد که الکترون واقعاً کجا قرار دارد؟

در نهایت بور و هایزنبرگ، به‌همراه هم مجموعه کاملی از دستورالعمل‌ها را در یک کتاب راهنمای کوانتوم فرمول بندی کردند، که در آزمایش‌های اتمی، با دقتی عالی نتیجه دادند. تابع موج، تنها احتمال این را بیان می‌کند که الکترون اینجا یا آنجا قرار داشته است. اگرمقدار تابع موج در نقطه مشخصی بزرگ باشد، به این معنی است که احتمال زیادی وجود دارد که الکترون در آن نقطه باشد. (اگر این مقدار کوچک باشد، بنابراین احتمال کمی وجود دارد که بتوان الکترون را در آن نقطه یافت.) به‌عنوان مثال، اگر می‌توانستیم تابع موج یک انسان را «ببینیم»، به‌طور قابل ملاحظه‌ای شبیه خود فرد می‌بود. با این همه، تابع موج به‌آرامی به‌درون فضا نیز گسترش می‌یابد؛ به این معنی که احتمال کوچکی نیز وجود دارد که این فرد بر روی ماه یافت شود. (در حقیقت تابع موج یک شخص در سراسر جهان گسترش می‌یابد.)

به این معنی که تابع موج یک درخت می‌تواند احتمال اینکه درخت ایستاده یا در حال افتادن باشد را تعیین کند، ولی مطمئناً نمی‌تواند بگوید که واقعاً درخت در چه حالتی قرار دارد. اما ما همه می‌دانیم که اجسام در حالات معین و قطعی هستند. زمانی که به درختی می‌نگرید، درخت قطعاً در مقابل شما قرار دارد، ایستاده یا افتاده؛ نمی‌تواند در هر دو حالت باشد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

برای از بین بردن این ناهمخوانی بین امواج احتمال و مفهوم شناخته شده وجود، بور و هایزنبرگ بیان داشتند، پس از اینکه یک ناظر بیرونی اندازه‌گیری انجام می‌دهد، تابع موج به نحو جادویی فرو می‌پاشد و الکترون به حالت معینی می‌رود؛ یعنی پس از نگاه کردن به یک درخت می‌بینیم که واقعاً ایستاده است. به بیان دیگر، فرایند مشاهده، حالت نهایی یک الکترون را تعیین می‌کند. مشاهده، نقشی حیاتی در وجود ایفا می‌کند. پس از نگریستن به الکترون، تابع موج آن از هم می‌پاشد. بنابراین الکترون هم‌اکنون در حالت معینی قرار داشته و دیگر نیازی به تابع موج نخواهد بود.

اصول اساسی مکتب کپنهاگ بور را می‌توان به‌طور کلی به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. انرژی به صورت بسته‌هایی مجزا است که کوانتوم نامیده می‌شوند. (به‌عنوان مثال، کوانتوم نور، فوتون است. کوانتوم نیروی ضعیف، بوزون‌های W و Z نامیده می‌شوند. کوانتوم نیروی قوی گلئون و کوانتوم نیروی گرانش گراویتون نامیده می‌شوند.)

۲. ماده به صورت ذرات نقطه‌ای مشاهده می‌شود، درحالی‌که احتمال یافتن این ذرات به صورت یک موج بیان می‌گردد. این موج به نوبه خود از یک معادله موج مشخص پیروی می‌کند. (مثل معادله موج شرودینگر)

۳. قبل از اینکه مشاهده‌ای صورت پذیرد، یک جسم در تمام حالات محتمل خود، به‌طور هم‌زمان وجود دارد. برای تعیین اینکه جسم در کدام حالت قرار دارد، باید مشاهده‌ای صورت پذیرد که منجر به از بین رفتن تابع موج شده و جسم به حالت معینی می‌رود. عمل مشاهده، تابع موج را از بین برده و پس از آن جسم موجودیت معینی خواهد داشت. آنچه تابع موج برای ما فراهم آورده است، احتمال دقیق یافتن جسم در آن حالت مشخص است.

جبر یا اختیار؟

نظریه کوانتوم، موفق‌ترین نظریه فیزیکی همه دوران‌ها است. بهترین

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

صورتبندی نظریه کوانتوم ــ مدل استاندارد ــ ثمره ده‌ها سال آزمایش به کمک شتاب دهنده‌های ذرات است. بخش‌هایی از این نظریه با دقت یک در ده میلیارد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. اگر مدل استاندارد، جرم نوترینو را نیز شامل شود، آنگاه این نظریه، بدون استثنا با تمام آزمایش‌های انجام گرفته بر روی ذرات زیراتمی سازگار خواهد بود.

اما بدون توجه به اینکه نظریه کوانتوم تا چه حد موفق بوده است، اصول اساسی تجربی آن، مناقشات فلسفی و الهی وسیعی را در طول هشتاد سال گذشته ایجاد کرده است. به ویژه اصل اساسی دوم، خشم مذاهب را برانگیخت، زیرا در مورد اینکه چه کسی تقدیر ما را رقم خواهد زد، پرسش می‌کند. در طول سال‌ها، فیلسوف‌ها، متخصصین الهیات و دانشمندان، شیفته آن بوده‌اند که آیا آینده و سرنوشت ما قابل پیش‌بینی است؟ در نمایشنامه مکبث اثر شکسپیر، بانکو، ناامید از تحمل نقابی که بر سرنوشت ما سایه افکنده است، این کلمات به یاد ماندنی را ادا می‌کند:

اگر به بذرهای زمان بنگری،
و بیاندیشی که کدام دانه رشد خواهد کرد و کدام نه،
آنگاه می‌توانی با من صحبت کنی...
(پرده اول، صحنه سوم)

شکسپیر این کلمات را در سال ۱۶۰۶ نوشته است. هشتاد سال بعد، انگلیسی دیگری به نام ایزاک نیوتون این جسارت را داشت تا ادعا کند که پاسخ به این پرسش قدیمی را می‌داند. اینشتین و نیوتون هردو به مفهومی به نام جبر معتقد بودند، که بیان می‌دارد تمام رویدادهای آینده را می‌توان تعیین کرد. از نظر نیوتون، جهان ساعت غول‌پیکری است که در ابتدای زمان به‌وسیله خدا کوک شده است. از آن زمان به بعد، به روشی که دقیقاً قابل پیش‌بینی است پیش می‌رود و از سه قانون حرکت نیوتون تبعیت می‌کند. ریاضیدان فرانسوی، پیر سیمون دو لاپلاس، که مشاور علمی ناپلئون نیز بوده است، بیان کرد که با استفاده از قوانین نیوتون، آینده را می‌توان با همان دقتی که گذشته را می‌دانیم، پیش‌گویی کرد. او نوشت اگر موجودی، موقعیت و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

سرعت تمام ذرات جهان را بداند، «برای چنین خرد هوشمندی، هیچ چیز نا معلوم نبوده و آینده، درست مثل گذشته، در مقابل چشمانش حاضر خواهد بود.» زمانی که لاپلاس نسخه‌ای از شاهکار خود، یعنی مکانیک سماوی، را به ناپلئون ارائه کرد، امپراطور چنین گفت: «تو این کار بزرگ را انجام داده‌ای، بدون اینکه نامی از خدا ببری.» لاپلاس جواب داد: «سرورم، من به چنین فرضی نیاز نداشتم.»

از نظر نیوتون و اینشتین، مفهوم اختیار به این معنی که ما سلطان سرنوشت خود هستیم، خیالی باطل بود. اینشتین این درک عام از نسبیت را، به این معنی که اجسام محسوسی که ما لمس می‌کنیم حقیقت دارند و در حالات معینی وجود دارند، «واقعیت عینی» نامید. او آشکارا موقعیت خود را به این صورت بیان کرده است:

> من جبرگرایی هستم که وادار شدم به گونه‌ای رفتار کنم که انگار اختیار وجود دارد، زیرا اگر می‌خواهم در جامعه‌ای متمدن زندگی کنم باید رفتاری مسئولانه داشته باشم. می دانم که از نظر فلسفی یک قاتل مسئول جرائم خود نیست، اما ترجیح می‌دهم با او چای ننوشم. فعالیت‌های من به‌وسیله نیروهای مختلفی که هیچ کنترلی بر روی آن‌ها ندارم تعیین شده است؛ پیش از همه توسط قیود اسرارآمیزی که طبیعت با آن‌ها ضرورت زندگی را تدارک دیده است. هنری فورد ممکن است آن را ندای درون بنامد، سقراط آن را اهریمن خطاب کند؛ هرکس با روش خود این حقیقت را بیان می‌کند که انسان آزاد نیست... همه چیز از قبل تعیین شده است... از طریق نیروهایی که بر آن‌ها هیچ کنترلی نداریم... برای هر حشره، برای هر ستاره. انسان‌ها، سبزیجات یا گرد و غبار کیهانی، همه تا زمانی نامعلوم با نوای نوازنده‌ای ناپیدا که از دور می‌خواند، خواهند رقصید.

متخصصین الهیات نیز با این مسئله دست به گریبانند. اغلب مذاهب جهان به نوعی فلسفه جبری معتقدند؛ این ایده که خداوند، نه فقط قادر مطلق و حاضر در همه جاست، بلکه به همه امور نیز واقف هست (همه چیز، حتی آینده را می‌داند). در برخی مذاهب، خداوند حتی قبل از تولد ما، می‌داند که کدامیک به بهشت یا جهنم خواهیم رفت. در اصل، تقدیر نوشته شده‌ای

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

وجود دارد که جایی در آسمان قرار داشته و تمام اسامی ما در آن فهرست شده‌اند؛ اطلاعاتی شامل تاریخ تولد، شکست‌ها و پیروزی‌ها، شادی‌ها و غم‌ها و حتی تاریخ مرگ و اینکه آیا ما در بهشت یا جهنم ابدی خواهیم زیست، در آن منظور شده است.

(این سوآل مهم مربوط به مسئله جبر در علوم الهی، در سال ۱۵۱۷ تا اندازه‌ای به تجزیه کلیسای کاتولیک کمک کرد، زمانی که مارتین لوتر در ویتنبرگ نود و پنج ایده به دستورالعمل‌های کلیسا افزود. او عملکرد کلیسا را مورد حمله قرار داد. کلیسا در آن زمان اقدام به گرفتن رشوه‌هایی می‌نمود که راه را برای رفتن ثروتمندان به بهشت هموار می‌کرد. شاید لوتر با خود می‌اندیشید که خداوند آینده ما را می‌داند و تقدیر ما از پیش تعیین شده است، ولی نمی‌توان خدا را ترغیب کرد که نظر خود را، با بخشش‌های سخاوتمندانه ما به کلیسا، تغییر دهد.)

اما از نظر فیزیکدانانی که مفهوم احتمال را پذیرفته‌اند، جدال انگیزترین اصل اساسی تا به امروز سومین اصل است، که نسل‌های متعددی از فیزیکدانان و فیلسوفان را دچار سردرگمی کرده است. مشاهده، مفهومی است بی‌قاعده با تعریفی نامشخص. به‌علاوه بر این حقیقت تکیه دارد که در اصل دو نوع فیزیک وجود دارد: یکی برای دنیای عجیب زیراتمی، جایی‌که از قرار معلوم الکترون‌ها می‌توانند در یک زمان در دو جا حضور داشته باشند و دیگری برای دنیای ماکروسکوپی که در آن زندگی می‌کنیم، که به‌نظر می‌رسد از قوانین معقول نیوتون تبعیت می‌کند.

بور عقیده دارد که یک دیوار نامرئی، دنیای اتمی را از دنیای آشنا و روزمره ماکروسکوپی ما جدا می‌کند. دنیای اتمی از قوانین خارق‌العاده نظریه کوانتوم تبعیت می‌کند، اما ما بیرون از این دیوار زندگی می‌کنیم، در دنیایی از سیارات و ستارگان که معادلات موج در آن‌ها از هم پاشیده شده‌اند.

ویلر، که مکانیک کوانتومی را در محضر کاشفین آن فراگرفته بود، قصد داشت دو مکتب فکری پاسخگو به این سوآل را، در هم یکی کند. او مثالی می‌آورد که در آن سه داور در بازی بیس بال در مورد بهترین امتیازات بحث

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌کنند. در تصمیم گیری، سه داور می‌گویند:

شماره ۱: من همان‌طور که آن‌ها را می‌بینم، می‌نامم.

شماره ۲: من آن‌ها را همانگونه که هستند، می‌نامم.

شماره ۳: تا زمانی که آن‌ها را ننامم، وجود ندارند.

از نظر ویلر، داور دوم اینشتین است، که باور داشت، خارج از تجارب انسانی، حقیقت مطلقی وجود دارد. اینشتین آن را واقعیت عینی نامید؛ این ایده که اجسام می‌توانند، بدون دخالت انسان‌ها، در حالات مشخص و معلومی وجود داشته باشند. سومین داور بور است؛ کسی که عقیده داشت ماهیت وجود، تنها پس از رخ دادن یک مشاهده به‌وجود می آید.

درختان جنگل

فیزیکدانان گاهی، با نقل قول از رومن سیسرو، فیلسوفان را مشخصاً مورد اهانت قرار می‌دهند. او یکبار گفته است: «حرف‌های خیلی بی‌معنی، که فیلسوفان آن‌ها را نگفته باشند، وجود ندارد.» ریاضیدانی با نام اِستَنیسلاو اولام، کسی که با اعطای اسامی رفیع به مفاهیم احمقانه مخالف بود، گفته است، «جنون عبارت است از قابلیت ایجاد تمایز بین انواع مختلف مهملات.» خود اینشتین نیز در مورد فلسفه اینگونه نوشته است «آیا فلسفه اینگونه نیست که انگار تماماً بر روی عسل نوشته شده باشد؟ زمانی که به آن می‌اندیشید شگفت‌آور است، اما اگر بخواهید دوباره به آن بنگرید تماماً رفته و ناپدید شده و تنها خمیری نرم باقی مانده است.»

فیزیکدانان، داستانی ساختگی را نقل می‌کنند، که در آن یک رئیس دانشگاه، پس از مشاهده بودجه اختصاص یافته به دپارتمان‌های فیزیک، ریاضی و فلسفه، گفته است: «چرا اینگونه است که شما فیزیکدان‌ها همیشه به چنین تجهیزات گران قیمتی نیاز دارید؟ درحالی‌که دپارتمان ریاضی چیزی جز کاغذ و قلم و سطل زباله نیاز ندارد و دپارتمان فلسفه از این هم بهتر است؛ حتی به سطل زباله هم نیاز ندارد.»

با این حال هنوز خنده آخر از آن فیلسوفان است. نظریه کوانتوم ناکامل

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

است و بر پایه‌های لرزان فلسفی تکیه دارد. این مباحث کوانتومی ما را وادار می‌کنند که کار فیلسوفانی مثل بیشاپ برکلی را مجدداً مورد بازبینی قرار دهیم؛ کسی که در قرن هجدهم ادعا کرد که اجسام وجود دارند، تنها به این دلیل که انسان‌هایی هستند تا آن‌ها را مشاهده کنند؛ فلسفه‌ای به نام نفس گرایی یا ایده‌آلیسم. اگر درختی در جنگل فرو افتد و کسی نباشد که آن را ببیند، در این صورت بر طبق ادعای آن‌ها درخت واقعاً نیفتاده است.

حال تفسیر کوانتومی افتادن درختان را مطرح می‌کنیم. قبل از اینکه مشاهده‌ای صورت پذیرد، نمی‌دانیم که آیا درخت افتاده است یا نه. در حقیقت در این حالت درخت در تمام حالات محتمل به‌طور هم‌زمان وجود دارد: ممکن است سوخته، افتاده، هیزم یا خاک شده باشد. وقتی مشاهده صورت گیرد، آنگاه درخت ناگهان به حالت مشخص و معلومی جهش می‌کند و مثلاً می‌بینیم که افتاده است.

فاینمن، با مقایسه مشکل فلسفی نسبیت و نظریه کوانتوم، گفته است، «زمانی بود که روزنامه‌ها نوشتند، تنها دوازده نفر نظریه نسبیت را فهمیده‌اند. معتقد نیستم هیچوقت اینطور بوده باشد... از طرف دیگر به جرات می‌توانم بگویم که هیچ‌کس مکانیک کوانتومی را هرگز نفهمیده است.» او می‌نویسد که مکانیک کوانتومی «طبیعت را به‌گونه‌ای توصیف می‌کند که از دید عامه بی‌معنی است، ولی در عین حال به شدت با آزمایش‌ها مطابقت دارد. بنابراین امیدوارم بتوانید طبیعت را همین‌طور بی‌معنی بپذیرید.» این مسئله احساس ناخوشایندی را در بین فیزیکدانان تجربی ایجاد کرده است. استیون واینبرگ می‌نویسد، «اقرار می‌کنم که در مراحل مختلف زندگی، حین کار در یک چهارچوب نظری، دچار ناراحتی‌هایی شده‌ام که هیچ کس به‌طور کامل آن‌ها را درک نمی‌کند.»

در علم سنتی، یک مشاهده گر بدون غرض، سعی دارد تا آنجا که ممکن است از دنیا منفصل و جدا باقی بماند. (لطیفی می‌گوید، «در یک باشگاه ورزشی همواره می‌توان یک دانشمند را از دیگران تشخیص داد، زیرا او تنها کسی است که به تماشاچیان توجه دارد.») اما برای اولین‌بار می‌بینیم که

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

جداکردن مشاهده گر از آنچه مشاهده می‌کند، غیرممکن است. آن‌طور که ماکس پلانک گفته است، «علم نخواهد توانست پرده از راز نهایی طبیعت بگشاید، زیرا در آخرین تحلیل، خود ما نیز بخشی از معمایی خواهیم بود که سعی در حل کردن آن داریم.»

معمای گربه

تصور اِروین شرودینگر، کسی که برای اولین‌بار معادله موج را مطرح کرد، این بود که ایده از مسیر اصلی خود منحرف شده است. او بعدها برای بور اعتراف کرد که اگر مطرح کردن تابع موج، باعث القاء مفهوم احتمال به فیزیک شده، از مطرح کردن آن احساس پشیمانی می‌کند.

برای از بین بردن مفهوم احتمال، او آزمایشی را ترتیب داد. گربه‌ای را در نظر بگیرید که در جعبه‌ای محصور شده است. درون جعبه یک بطری وجود دارد که مملو از گازی‌سمی است. این بطری به یک چکش متصل است، که آن هم به نوبه خود به یک شمارشگر گایگِر که در مجاورت قطعه‌ای اورانیم قرار دارد، وصل شده است. هیچ کس مخالف این مسئله نیست که واپاشی پرتوزای اتم اورانیم کاملاً یک رویداد کوانتومی است که نمی‌توان آن را از قبل پیش‌بینی کرد. بیایید در نظر بگیریم که ۵۰ درصد این شانس وجود دارد که یک اتم اورانیم طی یک ثانیه بعد واپاشی کند. درصورت واپاشی اتم اورانیم، شمارنده گایگر به‌کار می‌افتد که آن هم به نوبه خود چکش را رها کرده و منجر به شکستن شیشه و در نهایت مرگ گربه می‌شود. قبل از اینکه در جعبه را باز کنید، گفتن اینکه گربه مرده است یا زنده غیرممکن است. در حقیقت به منظور توصیف وضعیت گربه، فیزیکدانان توابع موج گربه زنده و مرده را با هم جمع می‌کنند ــ به این معنی که گربه را در جهانی قرار دادیم که به‌طور هم‌زمان در آن ۵۰ درصد مرده و ۵۰ درصد زنده است.

حال در جعبه را باز می‌کنیم. با نگریستن به داخل جعبه، مشاهده‌ای صورت گرفته، و در نتیجه تابع موج از بین می‌رود و ما خواهیم دید که گربه [در کمال تعجب] زنده است. از نظر شرودینگر این وضعیت احمقانه به‌نظر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

می‌رسید. چگونه یک گربه می‌تواند هم‌زمان مرده و زنده باشد، تنها به‌دلیل اینکه به او نگاه نکرده‌ایم. آیا واقعاً به محض اینکه آن را مشاهده می‌کنیم، موجودیت می‌یابد؟ اینشتین نیز از این تفسیر احساس رضایت نمی‌کرد. هربار که مهمانی به خانه او می‌آمد، می‌گفت: به ماه نگاه کنید. آیا ماه وقتی یک موش به آن نگاه می‌کند، ناگهان به‌وجود می‌آید؟ اینشتین عقیده داشت که پاسخ این سوآل نه بود. اما از برخی جهات پاسخ می‌توانست بله باشد.

بالاخره در سال ۱۹۳۰، در برخوردی تاریخی بین اینشتین و بور، در کنفرانس سولوی، نتیجه نهایی حاصل شد. ویلر بعدها گفته است، از نظر او این بزرگ‌ترین مواجهه در تاریخ اندیشه‌ها بوده است. در مدت ۳۰ سال، او هرگز ناظر مناظره‌ای به این مهمی بین دو چهره سرشناس، در مورد مطلبی چنین مهم و با نتایجی چنان عمیق برای درک جهان نبوده است.

اینشتین، فردی همواره جسور و فوق‌العاده سخنور، مجموعه سوآلاتی از «آزمایش‌های ذهنی» را برای تخریب نظریه کوانتوم مطرح کرد. بور هم که پیوسته زیرلب مِن و مِن می‌کرد، پی در پی مورد حملات اینشتین واقع می‌شد. فیزیکدانی به نام پُل اِرنفست، مشاهده خود را اینگونه بیان می‌کند، «برای من بسیار هیجان انگیز بود که در مباحثه بین بور و اینشتین حضور داشته باشم. اینشتین، مثل یک شطرنج باز ماهر، مثال‌های بسیار جدیدی را مطرح می‌کرد. بور همواره، خارج از ابهامات فیلسوفانه، به‌دنبال ابزاری‌بود تا مثال‌ها را یکی پس از دیگری نقض کند. اما اینشتین درست مثل عروسک جهنده از درون جعبه، هر روز صبح، تازه و پر انرژی، بیرون می‌جهید. واقعاً لذت بخش بود. اما من تقریباً آشکارا موافق بور و مخالف اینشتین بودم. او در مقابل بور به‌گونه‌ای رفتار می‌کرد که حامیان مطلق بودن زمان، روزگاری در مقابل او رفتار کرده بودند.»

در آخر اینشتین آزمایشی را مطرح کرد که تصور می‌کرد باعث شود نظریه کوانتوم خود حکم مرگ خویش را امضا کند. جعبه‌ای را در نظر بگیرید که حاوی بخار فوتون باشد. اگر جعبه دارای یک دریچه کرکره‌ای باشد، قادر خواهد بود یک تک فوتون را از آن دریچه رها کند. از آنجاکه می‌توان سرعت

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دریچه کرکره‌ای و همچنین انرژی‌فوتون را به دقت محاسبه کرد، بنابراین می‌توان حالت فوتون را با دقت نامحدودی تعیین کرد، که منجر به نقض اصل عدم قطعیت می‌گردد.

ارنفست نوشته است: «از نظر بور این ضربه مهلکی بود. در آن لحظه، هیچ پاسخی نداشت. تمام عصر آن روز، شدیداً ناراحت بود و با مراجعه به افراد مختلف تلاش می‌کرد تا آن‌ها را با خود همراه کند. زیرا پذیرش صحت این ادعا به معنی اتمام علم فیزیک بود. اما هیچ راه حلی برای رد این ادعا نمی‌یافت. هرگز چهره دو رقیب را هنگام ترک باشگاه دانشگاه فراموش نخواهم کرد. اینشتین با چهره‌ای با شکوه، با لبخندِ طعنه‌آمیز کم‌رنگی بر لب، حرکت می‌کرد و بور شدیداً ناراحت از گوشه‌ای می‌گذشت.»

زمانی که ارنفست بور را ملاقات کرد، او حرفی نمی‌زد و تنها زیر لب تکرار می‌کرد: «اینشتین... اینشتین... اینشتین»

روز بعد، پس از یک شب بی‌خوابی کامل، بور موفق به یافتن ایراد کوچکی در ادعای اینشتین شد. براساس برابری ماده و انرژی، پس از گسیل فوتون، جعبه کمی سبک‌تر خواهد شد. یعنی، از آنجا که انرژی وزن دارد، بر طبق نظریه گرانش خود اینشتین، جعبه تحت گرانش کمی بالا می‌آید و همین مسئله باعث به‌وجود آمدن عدم قطعیت در انرژی فوتون می‌گردد. در این صورت، با محاسبه عدم قطعیت در وزن و سرعت دریچه، خواهیم دید که جعبه دقیقاً از اصل عدم قطعیت پیروی می‌کند. در عمل، بور از نظریه گرانش خود اینشتین، برای رد ادعای او استفاده کرد! بور پیروز از میدان بیرون آمد. اینشتین شکست خورده بود.

زمانی که بعدها اینشتین ادعا کرد: «خداوند برای جهان تاس نمی‌ریزد»، بور در جواب به او گفت: «از این که به خدا بگویی چکار کند، دست بردار.» سرانجام اینشتین پذیرفت که بور موفق به رد دلایل او شده است. اینشتین نوشت: «من متقاعد شده‌ام که این نظریه بدون شک حاوی بخشی از حقیقت قاطع است.» (با این‌حال اینشتین، فیزیکدانانی را که از درک پارادوکس‌های ماهرانه ذاتی نظریه کوانتوم سرباز زدند، مورد تحقیر قرار داد. او یکبار

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نوشت: «البته امروزه هر آدم کم ارزشی نیز فکر می‌کند که پاسخ را می‌داند، اما خود را فریب می‌دهد.»)

پس از این ماجرا و دیگر مناظرات آتشین با فیزیکدانان کوانتومی، اینشتین بالاخره تسلیم شد، اما شیوه متفاوتی را در پیش گرفت. او قبول کرد که نظریه کوانتوم صحیح است، ولی تنها در قلمرو مشخصی؛ یعنی تنها به صورت تقریبی از حقیقت واقعی. همان‌طور که نسبیت، تعمیم یافته نظریه نیوتون بود (و آن را نفی نمی‌کرد)، او قصد داشت نظریه کوانتوم را درون نظریه‌ای عمومی‌تر و قدرتمند تر، به نام نظریه میدان یکپارچه، جای دهد.

(مناظرات، بین اینشتین و شرودینگر از یک طرف، بور و هایزنبرگ از طرف دیگر را نمی‌توان به سادگی نادیده گرفت. زیرا این «آزمایش‌های ذهنی» را می‌توان در حال حاضر در آزمایشگاه ترتیب داد. اگرچه دانشمندان نمی‌توانند کاری کنند که یک گربه هم زنده و هم مرده به‌نظر آید، ولی آن‌ها هم‌اکنون، با استفاده از فناوری نانو، توانایی تولید اتم‌های انفرادی را دارند. اخیراً این آزمایش‌های مهم با استفاده از یک باکی بال (ساختاری ملکولی و کروی شامل ۶۰ اتم کربن) انجام گرفته است. بنابراین دیواری که بور در جدا کردن اجسام بزرگ از اجسام کوانتومی به تصویر کشیده بود، به سرعت در حال از بین رفتن است. فیزیکدانان تجربی در حال حاضر حتی به این می‌اندیشند که برای نشان دادن اینکه یک ویروس (حاوی هزاران اتم) می‌تواند در یک زمان در دو جا باشد، به چه چیزهایی نیاز دارند.)

بمب

متأسفانه بحث در مورد این پارادوکس‌های جالب توجه، با ظهور هیتلر در سال ۱۹۳۳ و تلاش برای ساخت بمب اتمی متوقف شد. برای سال‌ها می‌دانستند که برطبق معادله مشهور اینشتین، ذخیره عظیمی از انرژی در اتم نهفته است. اما اغلب فیزیکدانان نسبت به این ایده که روزی بتوان این انرژی را استخراج کرد، احساس بی‌علاقگی می‌کردند. حتی ارنست رادرفورد، کسی که هسته اتم را کشف کرد، گفت: «انرژی ایجاد شده از شکستن یک اتم،

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

چیز بسیار کم ارزشی است. هرکس که از تبدیل و دگرگونی اتم‌ها انتظار یک منبع انرژی دارد، حرف بی‌معنی می‌زند.»

در سال ۱۹۳۹، بور سفر مهمی به ایالات متحده کرد، تا در نیویورک شاگرد خود، جان میلر را ملاقات کند. اخبار بدی با خود داشت: اوتو هان و لایز مایتنر نشان داده بودند که در فرایندی به نام شکافت هسته‌ای، می‌توان هسته اورانیم را به دو نیم کرد و انرژی آزاد نمود. بور و ویلر شروع به یافتن و استخراج دینامیک کوانتومی شکافت هسته‌ای نمودند. از آنجا که هر چیزی در نظریه کوانتوم به مسئله احتمال و شانس مربوط می‌شود، آن‌ها احتمال این را که یک نوترون، هسته اورانیم را از هم بشکافد محاسبه کردند. در نتیجه این شکافت، چند نوترون رها شده که منجر به شکافت هسته‌های اورانیم بیشتری می‌شود و در نتیجه نوترون‌های بیشتری آزاد می‌گردند. به‌این‌ترتیب چنین واکنش زنجیره‌ای قادر خواهد بود حتی یک شهر مدرن امروزی را کاملاً با خاک یکسان کند. (در مکانیک کوانتومی، هیچ‌گاه نمی‌توان تعیین کرد که آیا نوترون مشخصی منجر به شکافت هسته‌ای شده است یا نه، اما می‌توان با دقت باورنکردنی احتمال آن را که میلیاردها اتم اورانیم در یک بمب شکافته شوند، محاسبه کرد. این، قدرت مکانیک کوانتومی است.)

محاسبات کوانتومی آن‌ها نشان داد که، بمب اتمی می‌تواند وجود داشته باشد. دو ماه بعد، بور، اِگن واینر، لئو ژیلارد، و ویلر در دفتر قدیمی اینشتین در پرینستون گرد هم آمدند تا جنبه‌های مختلف ساخت یک بمب اتمی را مورد بررسی قرار دهند. بور عقیده داشت که برای ساخت یک بمب، تمام منابع یک ملت مورد نیاز است. (تنها چند سال بعد ژیلارد، اینشتین را به نوشتن نامه مهمی به رئیس جمهور فرانکلین روزولت ترغیب کرد تا او را به ساخت بمب اتمی تشویق نماید.)

اورانیم می‌تواند سلاحی مهلک را در اختیار آن‌ها قرار دهد، به هایزنبرگ که شاگرد بور بود، سفارش ساخت بمب اتمی را برای هیتلر دادند. تنها در عرض یک شب، مباحث مربوط به احتمال کوانتومی شکافت هسته‌ای اهمیت زیادی یافتند و سرنوشت تاریخ انسان به مخاطره افتاد. بحث در مورد

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

احتمال یافتن گربه زنده به‌زودی جای خود را به بحث در مورد احتمال شکافت هسته‌ای اورانیم داد.

در سال ۱۹۴۱، درحالی‌که نازی‌ها بخش اعظمی از اروپا را به تاراج می‌بردند، هایزنبرگ سفر مخفیانه‌ای برای ملاقات با استاد قدیمی خود، بور، به کپنهاگ انجام داد. ماهیت دقیق این ملاقات هنوز در پرده‌ای از ابهام قرار دارد، و نمایشنامه‌های تاثیرگذاری در مورد آن نوشته شده است. آیا نظر هایزنبرگ این بود که بمب اتمی نازی‌ها را خراب کنند؟ یا هایزنبرگ تلاش می‌کرد به‌منظور ساخت بمب برای نازی‌ها، بور را به خدمت بگیرد؟ شش دهه بعد، در سال ۲۰۰۲، زمانی که خانواده بور نامه‌ای را که او در دهه ۱۹۵۰ به هایزنبرگ نوشته، ولی هیچ‌گاه فرستاده نشده بود، منتشر کردند، پرده از نیت واقعی هایزنبرگ برداشته شد. در آن نامه، بور خاطرنشان می‌کند که هایزنبرگ در آن ملاقات بیان داشته است که پیروزی نازی‌ها حتمی است. از آنجایی‌که هیچ چیز نمی‌تواند جلوی نیروی عظیم نازی‌ها را بگیرد، منطقی به‌نظر می‌رسید که بور برای نازی‌ها کار کند.

بور وحشت کرده بود. او نپذیرفت که نتایج کارهایش بر روی نظریه کوانتوم، در دستان نازی‌ها قرار گیرد. از آنجا که دانمارک تحت کنترل نازی‌ها بود، به‌طور مخفیانه اقدام به فرار کرد. بور، حین فرار با هواپیما، در اثر کمبود اکسیژن، تجربه نزدیک به مرگ را از سر گذراند.

در همین حین، در دانشگاه کلمبیا، اِنریکو فِرمی نشان داد که واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای امکان‌پذیر است. او دریافت که چنین بمبی قادر است هر آنچه که او از بالای شهر نیویورک تا خط افق می‌بیند، نابود کند. ویلر، با اطلاع از اهمیت موضوع، به اراده خود پرینستون را ترک کرده و در زیرزمین استگفیلد در دانشگاه شیکاگو به فِرمی پیوست؛ جایی‌که این دو به‌همراه هم اولین رِاکتور هسته‌ای را ساختند و با این‌کار رسماً عصر هسته‌ای را آغاز کردند.

طی دهه بعد، ویلر شاهد برخی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در جنگ افزارهای اتمی بود. در طول جنگ جهانی دوم، او به نظارت بر کارهای

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ساختمانی تاسیسات هسته‌ای هانفورد، در ایالت واشنگتن کمک کرد؛ ساختمانی که در آن پلوتونیم خام لازم برای ساخت بمبی که ناکازاکی را با خاک یکسان کرد، ساخته شد. تنها چند سال بعد او بر روی بمب هیدروژنی کار کرد و در سال ۱۹۵۲، شاهد انفجار اولین بمب هیدروژنی بود که دامنه تخریب آن مانند فرو افتادن قطعه‌ای از خورشید بر روی جزیره کوچکی در اقیانوس آرام بود. اما بعد از گذشت بیش از یک دهه پیشتازی در تاریخ جهان، در نهایت به سمت عشق اولیه خود، یعنی اسرار نظریه کوانتوم، بازگشت.

جمع مسیرها

یکی از بهترین شاگردان ویلر، بعد از جنگ، ریچارد فاینمن بود که می‌توان گفت شاید به ساده‌ترین اما در عین حال عمیق‌ترین روش برای خلاصه‌سازی پیچیدگی‌های نظریه کوانتوم دست یافت. (در سال ۱۹۶۵، یکی از نتایج این ایده، برای فاینمن جایزه نوبل به ارمغان آورد.) فرض کنید که می‌خواهید عرض اتاق را بپیمایید. از نظر نیوتون مسئله بسیار ساده است؛ کوتاه‌ترین مسیر از نقطه A به نقطه B، به نام مسیر کلاسیک، انتخاب می‌شود. اما از نظر فاینمن، در ابتدا باید تمام مسیرهای ممکن از نقطه A به B را در نظر بگیرید. این به معنی در نظر گرفتن مسیرهایی است که شما را به مریخ، مشتری، و نزدیک‌ترین ستاره‌ها می‌رسانند و حتی مسیرهایی که در زمان به عقب می‌روند و به انفجار بزرگ بر می‌گردند. این مسیرها هر چقدر هم که احمقانه یا عجیب و غریب باشند، باید در نظر گرفته شوند. در مرحله بعد فاینمن به هر مسیر، عددی اختصاص می‌دهد، که این اعداد با کمک مجموعه دقیقی از قوانین محاسبه می‌شوند. به‌طور معجزه‌آسایی با جمع کردن تمام اعداد مربوط به مسیرهای ممکن، احتمال رفتن از نقطه A به نقطه B حاصل ــ مکانیک کوانتومی استاندارد ــ را به‌دست خواهید آورد. این واقعاً قابل توجه است.

فاینمن دریافت که اعداد مربوط به مسیرهای عجیب یا مسیرهایی که با قوانین حرکت نیوتون در تناقض هستند، اغلب یکدیگر را خنثی کرده و

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

حاصل جمع کوچکی دارند. همین مسیرهایی که حاصل جمع آن‌ها بسیار کوچک بود، منشأ افت و خیزهای کوانتومی بودند. اما او همچنین دریافت که مسیر معقول نیوتونی، تنها مسیری بود که حذف نشده و بنابراین بیشترین مجموع را داشت؛ یعنی مسیری بود با بالاترین احتمال. بنابراین درک معقول ما از جهان فیزیکی، تنها عبارت است از محتمل‌ترین حالت در بین تعداد نامحدودی حالت‌های مختلف. ولی از طرفی، ما با تمام حالت‌های ممکن هم زیستی داریم. برخی از این حالات، ما را به عصر دایناسورها، یا به نزدیک‌ترین ابرنواختر، و حتی به کرانه‌های جهان پیوند می‌دهند. (این مسیرهای نامعقول انحرافات کوچکی را نسبت به مسیر معقول نیوتون ایجاد می‌کنند، ولی خوشبختانه احتمال مربوط به آن‌ها بسیار کوچک است.)

به بیان دیگر، هربار که در عرض اتاق حرکت می‌کنید، بدن شما، به نوعی تمام مسیرهای ممکن را از قبل بو می‌کشد و همه را با هم جمع می‌کند؛ حتی آن‌هایی را که به اختروش‌های دوردست و انفجار بزرگ کشیده می‌شوند. فاینمن، با استفاده از ریاضیات قدرتمند انتگرال‌های تابعی، نشان داد که مسیر نیوتون، محتمل‌ترین مسیر (و نه تنها مسیر ممکن) است. در یک شاهکار ریاضی، فاینمن توانست نشان دهد که این تصویر، همانقدر که به‌نظر می‌رسد حیرت آور بوده و دقیقاً با مکانیک کوانتومی معمولی برابر است. (در حقیقت فاینمن توانست با استفاده از این روش مشتق معادله شرودینگر را بگیرد.)

نکته قابل توجه این است که امروزه وقتی که نظریه‌های گات، تورم و حتی نظریه ریسمان‌ها[1] را فرمول بندی می‌کنیم، از نظریه «انتگرال مسیر» فاینمن استفاده می‌کنیم. در حال حاضر این روش در تمام جهان تدریس می‌شود و تاکنون مناسب‌ترین و قدرتمندترین روش برای فرمول بندی نظریه کوانتوم بوده است.

(من هر روز طی تحقیقات خود، از روش انتگرال مسیر فاینمن استفاده می‌کنم. هر معادله‌ای که می‌نویسم بر حسب جمع مسیرها است. زمانی که به‌عنوان یک دانشجوی کارشناسی ارشد با روش فاینمن آشنا شدم، تصویر

1. Strings theory

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ذهنی من از جهان به کلی تغییر کرد. من، از نظر عقلی، ریاضیات نظریه کوانتوم و نسبیت عام را به‌طور خلاصه فهمیدم، اما این ایده که من با عبور از عرض اتاق به نوعی تمام مسیرهایی را که مرا به مریخ یا ستارگان دوردست می‌رساند شناسایی می‌کنم، جهان بینی مرا تغییر می‌دهد. ناگهان تصویر جدید و عجیبی در ذهن من شکل گرفت که خود را در حال زندگی در جهان کوانتومی می‌دیدم. به‌این‌ترتیب، دریافتم که نظریه کوانتوم بسیار عجیب و غریب‌تر از پیامدهای سرگیجه آور نسبیت است.)

زمانی که فاینمن این فرمول بندی عجیب و نامانوس را تهیه کرد، ویلر که در دانشگاه پرینستون بود، به انستیتوی مطالعات پیشرفته در همسایگی خود رفت تا اینشتین را ملاقات کرده و او را نسبت به قدرت و ظرافت این تصویر جدید متقاعد سازد. ویلر، نظریه جدید انتگرال مسیر فاینمن را، با هیجان برای اینشتین توضیح داد. او در آن زمان نفهمید که از نظر اینشتین این ایده چقدر احمقانه به‌نظر می‌رسید.

اینشتین سر خود را تکان داد و این موضوع را تکرار کرد که هنوز هم نمی‌تواند باور کند که خداوند برای جهان تاس بریزد. اینشتین به ویلر اقرار کرد که ممکن است اشتباه کند، اما این را نیز تاکید کرد که حق دارد اشتباه کند.

دوست واینر

اغلب فیزیکدانان در مواجهه با پارادوکس‌های تاثیرگذار مکانیک کوانتومی، شانه‌های خود را بالا انداخته و به علامت تسلیم دست‌های خود را بالا بردند. از نظر اغلب دانشمندان تجربی، مکانیک کوانتومی مجموعه‌ای دستورالعمل است که با دقتی عالی، احتمالات درستی را نتیجه می‌دهد. همانگونه که جان پولکینگورن، فیزیکدانی که بعدها کشیش شد، گفته است: «به‌طور متوسط، مکانیک کوانتومی فیلسوفانه‌تر از مکانیک اتومبیل متوسط نیست.»

برخی از برجسته‌ترین متفکران علم فیزیک با این پرسش‌ها دست و پنجه نرم کرده‌اند. به‌عنوان مثال، راه حل‌های متعددی برای معمای گربه شرودینگر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

وجود دارد. اولین آن‌ها که به‌وسیله اِگِن واینر و دیگران مورد تائید قرار گرفته است، این است که آگاهی، ماهیت وجود را تعیین می‌کند. واینر نوشته است: «بدون اشاره به حس آگاهی [فرد مشاهده‌گر] ممکن نبود که بتوان قوانین مکانیک کوانتومی را اینطور پایدار فرمول بندی کرد... مطالعه اولیه جهان بیرونی به این نتیجه منجر شد که حقیقت نهایی، همان مضمون آگاهی است.» یا همانگونه که جان کیتز شاعر گفته است: «هیچ چیز واقعیت نمی‌یابد، مگر اینکه دستان تجربه آن را لمس کند.»

با این حال، در صورتیکه من مشاهده‌ای انجام دهم، چه چیزی این امر را که خود من در چه حالت و وضعیتی هستم، تعیین می‌کند؟ یعنی شخص دیگری، به‌منظور از بین بردن تابع موج من، باید مرا مورد مشاهده قرار دهد. این مسئله گاهی «دوست واینر» نامیده می‌شود. اما این یعنی شخص دیگری نیز باید دوست واینر را مشاهده کند و همچنین دوست دوست واینر و الی آخر. آیا خرد برتری وجود دارد، که با مشاهده کل جهان، به دنباله دوستان واقعیت بخشد؟

یکی از فیزیکدانانی که به‌طور قطع، به نقش محوری آگاهی اعتقاد دارد، آندرِی لیند، یکی از بنیانگذاران جهان تورمی است.

> من به‌عنوان یک انسان، راهی را نمی‌شناسم که به‌وسیله آن بتوانم ادعا کنم در نبود یک مشاهده گر، جهان اینجا وجود دارد. جهان و ما هر دو با هم هستیم. زمانی که می‌گویید جهان بدون هیچ مشاهده گری نیز وجود دارد، هیچ معنی برای من نخواهد داشت. من نمی‌توانم نظریه پایداری را برای همه چیز تصور کنم، که حس آگاهی را انکار کند. یک وسیله ضبط کننده نمی‌تواند نقش یک مشاهده گر را ایفا کند، زیرا در این‌صورت نمی‌توان تعیین کرد چه کسی اطلاعات ضبط شده بر روی دستگاه را می‌خواند. برای اینکه اتفاق افتادن چیزی را ببینید و به دیگران نیز بگویید که چنین چیزی اتفاق افتاده است، نخست به یک جهان، سپس یک وسیله ضبط کننده و درنهایت به انسان‌ها نیاز دارید... در نبود مشاهده گر، جهان مرده است.

بر اساس فلسفه لیند، در حقیقت تا زمانی که شما به فسیل دایناسورها

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نگاه نکرده‌اید، آن‌ها وجود ندارند. ولی به محض اینکه به آن‌ها می‌نگرید، به‌وجود می‌آیند؛ به‌گونه‌ای که انگار از میلیون‌ها سال پیش وجود داشته‌اند. (فیزیکدانانی که به چنین دیدگاهی معتقد هستند، به این مسئله اشاره می‌کنند که این ادعا با نتایج آزمایش، در دنیایی که در آن فسیل دایناسورها واقعاً میلیون‌ها سال عمر دارند، سازگار است.)

(برخی افراد که علاقه‌ای به وارد کردن مفهوم آگاهی به فیزیک ندارند، ادعا می‌کنند یک دوربین نیز می‌تواند مشاهده‌ای را از یک الکترون انجام دهد و بنابراین توابع موج را می‌توان بدون پناه بردن به موجودات دارای خرد از بین برد. اما چه کسی می‌تواند بگوید که دوربین وجود دارد؟ دوربین دیگری نیاز است تا دوربین اول را مشاهده کند و دوربین سومی برای دوربین دوم و همین طور الی آخر تا بی‌نهایت. بنابراین دوربین نمی‌تواند به این پرسش پاسخ دهد که چگونه توابع موج از بین می‌روند.)

عدم ارتباط

یک روش برای حل جزئی برخی از این پرسش‌های فلسفی، عدم ارتباط نامیده می‌شود، که روشی مشهور در بین فیزیکدانان محسوب می‌شود. این روش اولین‌بار در سال ۱۹۷۰، به‌وسیله فیزیکدان آلمانی به نام دیتر زِه مطرح شد. او متوجه شد که در دنیای واقعی نمی‌توان گربه را از محیط جدا کرد. در حقیقت گربه با مولکول‌های هوا، جعبه و حتی پرتوهای کیهانی در تماس مداوم است.

این برهم‌کنش‌ها، هرچقدر هم که کوچک باشند، از اساس بر روی تابع موج اثر می‌گذارند: اگر تابع موج به اندازه ناچیزی دچار اختلال شود، آنگاه ناگهان به دو تابع موج مجزا، مربوط به گربه مرده و گربه زنده، تقسیم می‌شود که دیگر بر هم اثر متقابلی ندارند. زِه نشان داد که تنها برخورد با یک مولکول هوا برای از بین بردن تابع موج کافی است، و منجر به جداشدن دائمی توابع موج گربه زنده و مرده می‌شود (و دیگر با یکدیگر ارتباطی نخواهند داشت). به بیان دیگر حتی قبل از اینکه در جعبه را باز کنید، گربه با مولکول‌های هوا

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در تماس بوده و در نتیجه یا مرده یا زنده است.

زِه مشاهده کلیدی را انجام داد که در آن زمان نادیده گرفته شد: برای اینکه گربه هم مرده و هم زنده باشد، تابع موج گربه مرده و تابع موج گربه زنده باید در هم‌زمانی دقیقی با هم در نوسان باشند؛ حالتی که به آن همدوسی می‌گویند. اما از نظر آزمایشگاهی این تقریباً غیرممکن است. ایجاد اجسام همدوس که به صورت هماهنگ نوسان می‌کنند در آزمایشگاه فوق‌العاده مشکل است. (در عمل، به‌دلیل تداخل با دنیای بیرون، واداشتن بیش از تعداد معدودی اتم به نوسان به‌طور همدوس، غیرممکن است.) در دنیای واقعی اجسام با محیط برهم‌کنش دارند و کوچک‌ترین اثر متقابل با دنیای خارجی می‌تواند منجر به برهم زدن دو تابع موج گردد. در نتیجه دو تابع شروع به ناهمدوسی می‌نمایند؛ یعنی هماهنگی آن‌ها از بین رفته و از هم جدا می‌شوند. زه نشان داد زمانی که دو تابع موج به‌طور همدوس نوسان نمی‌کنند، از آن پس با یکدیگر تعامل نخواهند داشت.

دنیاهای متعدد

در ابتدا مسئله ناهمدوسی قانع‌کننده به‌نظر می‌رسید. زیرا در این حالت تابع موج، نه به‌دلیل وجود آگاهی، بلکه از طریق اثرات متقابل تصادفی با دنیای بیرون از هم می‌پاشید. اما از طرفی حتی این توضیح نیز به پرسش اساسی که ذهن اینشتین را به خود مشغول ساخته بود، پاسخ نمی‌داد: طبیعت چگونه حالت نهایی خود را انتخاب می‌کند؟ وقتی که یک مولکول هوا با گربه برخورد می‌کند، چه کسی یا چه چیزی حالت نهایی گربه را تعیین می‌کند؟ در مورد این سوآل، نظریه ناهمدوسی تنها بیان می‌دارد که دو تابع موج از هم جدا شده و دیگر بر هم اثر ندارند، ولی به پرسش اصلی پاسخ نمی‌دهد: گربه زنده است یا مرده؟ به بیان دیگر اگرچه ناهمدوسی، وجود حس آگاهی را در مکانیک کوانتومی غیرضروری می‌کند، اما به پرسش کلیدی اینشتین، پاسخ نمی‌دهد: طبیعت چگونه حالت نهایی گربه را انتخاب می‌کند؟ در مورد این سوآل، نظریه همدوسی پاسخی ندارد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

با این حال، تعمیم طبیعی نظریه ناهمدوسی، که امروزه به‌طور گسترده‌ای بین فیزیکدانان مورد قبول واقع شده است، به این پرسش پاسخ می‌دهد. این روش دوم، اولین‌بار به‌وسیله یکی دیگر از دانشجویان ویلر، به نام هیو اِورِت سوم، ارائه شد؛ او این احتمال را مطرح کرد که شاید گربه بتواند در یک زمان هم مرده و هم زنده باشد، ولی در دو جهان متفاوت. زمانی که تز دکترای اورت در سال ۱۹۵۷ به اتمام رسید، خیلی مورد توجه واقع نشد. با این حال در طول سال‌ها علاقه به این تفسیر، به نام «دنیاهای متعدد»، رو به گسترش نهاد. امروزه این مسئله علاقه به پارادوکس‌های نظریه کوانتوم را به صورت گسترده احیا کرده است.

در این تفسیر جدید، گربه، هم زنده و هم مرده است، زیرا جهان به دو جهان تبدیل شده است. در یک جهان گربه، مرده و در دیگری زنده است. در حقیقت در هر موقعیت کوانتومی، جهان به دو تا تقسیم می‌شود. در این سناریو، تمام جهان‌ها ممکن هستند و هرکدام به اندازه دیگری واقعیت دارند. افرادی که در هرکدام از این جهان‌ها زندگی می‌کنند، ممکن است معتقد باشند که جهان آن‌ها در اصل جهان واقعی است و جهان‌های دیگر توهمی و خیالی هستند. این جهان‌های موازی، جهان‌های خیالی با موجودیت زودگذر نیستند. ما در هرکدام از این جهان‌ها ظهور اجسام جامد و وقایع عینی را به همان اندازه عملی و واقعی داریم.

فایده این نوع تفسیر این است که می‌توانیم شرط شماره ۳، یعنی از بین رفتن تابع موج، را منتفی بدانیم. توابع موج هرگز از بین نمی‌روند، بلکه آن‌ها به رشد خود ادامه داده و تا ابد، در درختی با شاخه‌های بی‌پایان، به توابع موج دیگر تقسیم می‌شوند. هر کدام از شاخه‌های آن درخت نماینده یک جهان کامل و مستقل است. مزیت بزرگ نظریه دنیاهای متعدد این است که از تفسیر کپنهاگ ساده‌تر است: به عبارت دیگر نیازی به از بین رفتن تابع موج نیست. در عوض، جهان‌هایی داریم که دائماً به میلیون‌ها شاخه منشعب می‌شوند. (درک این مسئله که چگونه می‌توان رد پای تمام این جهان‌های تکثیر شده را گرفت، از نظر برخی مشکل است. با این حال معادله موج

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

شرودینگر این‌کار را به‌طور اتوماتیک انجام می‌دهد. تنها با ترسیم سیر تکاملی معادله موج، می‌توان سریعاً تمام شاخه‌های متعدد موج را به‌دست آورد.)

اگر این تفسیر صحیح باشد، در همین لحظه بدن شما، با تابع موج دایناسورها، همزیستی می‌کند. این همزیستی در اتاقی که درون آن هستید، عبارت است از یک تابع موج شامل جهانی که آلمان‌ها در آن فاتح جنگ جهانی دوم بوده‌اند، جهانی که غریبه‌ها از فضا در آن پرسه می‌زنند و جهانی که شمّا در آن هرگز زاده نشده‌اید. جهان مرد ساکن قلعه بلند و همین‌طور جهان کمربند شفق، در بین جهان‌هایی هستند که در اتاق خود دارید. نکته قابل توجه این است که ما دیگر نمی‌توانیم اثرات متقابل بر روی آن‌ها داشته باشیم، زیرا آن‌ها با ما ناهمدوس شده‌اند.

همان‌طور که آلن گوث گفته است: «جهانی وجود دارد که در آن هنوز الویس زنده است.» فیزیکدانی به نام فرانک ویلچک نوشته است: «ما متحیر از این هستیم که در حال حاضر تعداد زیادی کپی‌های کمی متفاوت از ما، در دنیاهای موازی با ما زندگی می‌کنند و اینکه در هر لحظه کپی‌های تکثیر یافته بیشتری به‌وجود آمده و تعداد زیادی آینده‌های متفاوت از ما ایجاد می‌کنند.» او اشاره می‌کند که اگر هلن از تروی، چنین زیبایی دلفریبی نمی‌داشت و اگر در عوض زگیل زشتی روی بینی‌اش می‌داشت، ممکن بود تاریخ تمدن یونانی و بنابراین دنیای غرب، سرنوشت دیگری داشته باشد. او ادامه می‌دهد: «خوب، زگیل از تغییراتی در یک سلول به‌وجود می‌آید که اغلب می‌تواند از طریق قرار گرفتن در معرض پرتوهای ماورای بنفش خورشید ناشی شود. نتیجه: دنیاهای بسیار متعددی وجود دارند که در آن‌ها هلن زگیل بزرگی روی بینی خود دارد.»

در بخشی از اثر کلاسیک علمی تخیلی ستاره‌ساز، اولاف استاپلدون می‌نویسد: «هربار که موجودی با مسیرهای متعددی در زندگی خود مواجه می‌شود، همه آن‌ها را در پیش می‌گیرد، و به‌این‌ترتیب تاریخ‌های متعددی رقم می‌خورد.» از آنجا که در سیر تکاملی کیهان، موجودات زیادی وجود

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

داشته‌اند و هر کدام با شرایط متعددی مواجه شده‌اند و ترکیبات تمام این حالات، غیرقابل شمارش است، اقیانوس بی‌کرانی از جهان‌های مجزا، در هر لحظه از هر شرایط زودگذری ورق می‌خورد و جدا می‌شود.»

حقیقتاً گیج نده است، وقتی می‌فهمیم که برطبق این تفسیر از مکانیک کوانتومی، تمام جهان‌های محتمل و ممکن، در همین لحظه با ما در حال همزیستی هستند. اگرچه ممکن است برای دسترسی به این جهان‌های دیگر نیاز به کرمچاله داشته باشیم، اما جالب است که بدانیم این حقایق کوانتومی همه در همان اتاقی که در آن زندگی می‌کنیم، وجود دارند. آن‌ها همه جا با ما هستند، هرجا که برویم. سوآل کلیدی این است که: اگر این حقیقت دارد، چرا اتاق خود را مملو از جهان‌های دیگر نمی‌بینیم؟ در اینجا ناهمدوسی به کمک ما می‌آید: تابع موج ما با این جهان‌های دیگر ناهمدوس شده است. (یعنی این امواج دیگر با امواج ما همفاز نیستند.) دیگر با آن‌ها ارتباطی نداریم. یعنی حتی کوچک‌ترین آلودگی در محیط، از برهم‌کنش توابع موج مختلف با یکدیگر جلوگیری به عمل می‌آورد. (در فصل ۲، به استثنایی برای این قانون اشاره می‌کنم، که در آن این احتمال وجود دارد که موجودات باهوش بتوانند بین جهان‌های کوانتومی سفر کنند.)

آیا این مسئله عجیب‌تر از آن است که امکان‌پذیر باشد؟ برنده جایزه نوبل، استیون واینبرگ، نظریه جهان‌های چندتایی را به رادیو تشبیه می‌کند. در اطراف شما صدها موج رادیویی مختلف وجود دارند که از ایستگاه‌های دوردست ارسال می‌شوند. در هر لحظه، دفترکار، ماشین یا اتاق شما، مملو از این امواج رادیویی است. با این حال، اگر رادیویی را روشن کنید، در هر زمان تنها می‌توانید به یک فرکانس گوش دهید. فرکانس‌های دیگر ناهمدوس هستند و با یکدیگر هم فاز نیستند. هر ایستگاهی انرژی و فرکانس متفاوتی دارد. به‌این‌ترتیب رادیوی شما در هر زمان تنها می‌تواند بر روی یک ایستگاه تنظیم شود.

به‌طور مشابه، ما در جهان خود بر روی فرکانسی که به واقعیت فیزیکی مربوط می‌شود تنظیم شده‌ایم. یعنی تعداد نامحدودی واقعیت‌های موازی

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

وجود دارند که اگرچه نمی‌توانیم بر روی آن‌ها تنظیم شویم، ولی با ما در همین اتاق همزیستی می‌کنند. با اینکه این دنیاها بسیار به‌هم شبیه هستند، اما هرکدام انرژی متفاوتی دارند و از آنجایی‌که هر دنیایی شامل میلیاردها میلیارد اتم است، بنابراین تفاوت در انرژی‌ها می‌تواند بسیار زیاد باشد. به این دلیل که فرکانس این امواج با انرژی آن‌ها متناسب است (طبق قانون پلانک)، بنابراین امواج هر دنیایی در فرکانس متفاوتی نوسان می‌کند، و نمی‌توانند بر هم تاثیر متقابل داشته باشند. به‌این‌ترتیب امواج این جهان‌های متفاوت، با یکدیگر تعامل نداشته و بر هم اثری نمی‌گذارند.

دانشمندان با پذیرفتن این ایده عجیب، در کمال شگفتی، مجدداً می‌توانند تمام نتایج حاصل از روش کپنهاگ را بدون اینکه مجبور باشند تابع موج را از بین ببرند، استنتاج کنند. به بیان دیگر، آزمایش‌های که با کمک تفسیر کپنهاگ یا با بسیاری تفاسیر دیگر از جهان صورت می‌گیرد، با دقت بالایی به همان نتایج تجربی منجر می‌شوند. فروپاشی تابع موج بور، از نظر ریاضی با آلودگی محیط معادل است. به بیان دیگر، اگر بتوانیم به‌گونه‌ای گربه را از آلودگی از هر اتم یا پرتو کیهانی حفظ کنیم، گربه شرودینگر می‌تواند هم‌زمان زنده و مرده باشد. البته این عملاً غیرممکن است. وقتی که گربه در تماس با پرتو کیهانی قرار دارد، تابع موج گربه زنده و مرده ناهمدوس می‌شوند و اینطور به‌نظر می‌آید که تابع موج از بین رفته است.

وجود از داده[1]

ویلر، به‌دلیل علاقه وافر به معمای اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم، به‌عنوان چهره پیر علم فیزیک کوانتوم با عزت و افتخار در مجامع مختلف حاضر می‌شد. (با این‌حال، او همیشه از چنین انجمن‌هایی خوشش نمی‌آمد. او حتی یکبار ناراحتی خود را از شرکت در برنامه مشابهی، با حضور سه فراروانشناس، ابراز کرد. او به سرعت بیانیه‌ای تهیه کرد حاوی این مطلب که:

1. It from Bit

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

«جایی که دود وجود دارد، دود وجود دارد.»)

پس از هفتاد سال تفکر در مورد پارادوکس‌های نظریه کوانتوم، ویلر اولین کسی بود که اعتراف کرد تمام جواب‌ها را ندارد. او همواره فرضیات خود را مورد پرسش قرار می‌داد. زمانی که از او در مورد معمای اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی پرسیده شد، پاسخ داد: «این سوآل مرا دیوانه کرده است. اعتراف می‌کنم که گاهی اوقات صد در صد به این ایده معتقد می‌شوم که جهان، افسانه‌ای خیالی است، درحالی‌که در مواقع دیگر باور می‌کنم که جهان، در بیرون، مستقل از ما وجود دارد. با این حال از صمیم قلب با حرف‌های لایب‌نیتس موافقم که می‌گوید: این دنیا ممکن است یک تصویر ذهنی و مسئله وجود صرفاً یک رویا باشد، اما این تصویر ذهنی یا رویا برای من به اندازه کافی واقعی است. اگر از عقل خود به خوبی استفاده کنیم، هرگز فریب آن را نخواهیم خورد.»

امروزه نظریه جهان‌های متعدد/ناهمدوسی در بین فیزیکدانان شهرت کسب کرده است. اما ویلر از این جهت ناراحت است که این نظریه به «بار و بنه زیادی» احتیاج دارد. او به یافتن توضیح دیگری برای معمای گربه شرودینگر مشغول است. ویلر نظریه خود را «وجود از داده» می‌نامد. نظریه او نظریه‌ای نامتعارف است و با این فرض آغاز می‌شود که اطلاعات سرچشمه وجودند. او ادعا می‌کند زمانی که به ماه، یک کهکشان یا یک اتم می‌نگریم، ماهیت وجودی آن‌ها اطلاعاتی است که درون‌شان ذخیره شده است. اما این اطلاعات زمانی پا به عرصه وجود گذاشتند که جهان، خود را مورد مشاهده قرار داد. او نقشه مدوری را رسم کرده است، که نشان‌دهنده تاریخ جهان است. در ابتدا، جهان به عرصه وجود آمد، زیرا مورد مشاهده واقع شد. یعنی «ماده موجود در جهان» زمانی به عرصه وجود آمد که «داده‌های» مربوط به آن مورد مشاهده واقع شدند. او این جهان را «جهان مشارکتی»[1] می‌نامد؛ این ایده که جهان همانگونه که ما خود را با آن سازگار می‌کنیم، خود را با ما سازگار می‌کند، و اینکه حضور اولیه ما، وجود جهان را

1. Participatory Universe

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

ممکن ساخته است. (از آنجا که در مورد معمای اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم، اتفاق آراء جهانی وجود ندارد، اغلب فیزیکدانان در مقابل نظریه وجود از داده، سیاست تا ببینیم چه می‌شود را اتخاذ می‌کنند.)

رایانه کوانتومی و دورفرستی[1]

شاید چنین مباحث فیلسوفانه‌ای، با دانستن این موضوع که هیچ گونه کاربرد عملی در جهان ما ندارند، کاملاً بی‌فایده به‌نظر برسند. فیزیک کوانتومی به‌جای اینکه در مورد این مسئله بحث کند که چند فرشته می‌توانند نوک یک سوزن برقصند، باید به این مسئله بپردازد که یک الکترون در یک زمان می‌تواند در چند نقطه وجود داشته باشد.

با این حال، چنین مباحثی، افسانه‌ای نبوده و ممکن است روزی عملی‌ترین کاربرد را داشته باشند: یعنی به حرکت درآوردن اقتصاد جهان. یک روز ممکن است ثروت و دارایی کل ملت‌ها به زیرکی گربه شرودینگر بستگی داشته باشد. در آن زمان شاید رایانه‌های ما، در جهان‌های موازی، محاسبات را انجام دهند. امروزه تقریباً تمام شالوده رایانه‌های ما براساس ترانزیستورهای سیلیکونی هستند. تحقق قانون مور که بیان می‌دارد قدرت رایانه‌ها هر هجده ماه دوبرابر می‌شود، به‌دلیل توانایی ما در قرار دادن ترانزیستورهای کوچک‌تر و کوچک‌تر درون تراشه‌های سیلیکونی، از طریق تابش پرتوهای ماورای بنفش بوده است. اگرچه قانون مور انقلابی را در چشم‌انداز فناوری ایجاد کرده است، ولی برای همیشه نمی‌تواند ادامه داشته باشد. پیشرفته‌ترین تراشه پنتیم دارای لایه‌ای به ضخامت بیست اتم است. در طول پانزده تا بیست سال آینده، ممکن است بتوان روی لایه‌هایی با ضخامت تنها پنج اتم عملیات انجام داد. در این ابعاد کوچک غیرقابل باور، مجبوریم مکانیک نیوتونی را رها کرده و مکانیک کوانتومی را بپذیریم؛ جایی که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ تعیین‌کننده است. در نتیجه ما دیگر نمی‌دانیم الکترون

1. Teleportation

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

دقیقاً کجا قرار دارد. به عبارت دیگر، زمانی که الکترون‌ها به‌جای ماندن در عایق‌ها و نیمه هادی‌ها به خارج از آن‌ها رانده می‌شوند، ارتباط الکتریکی برقرار می‌شود.

در آینده، ما به حد نهایی توانایی خود در حکاکی بر روی ویفرهای سیلیکونی خواهیم رسید. عصر سیلیکون به‌زودی به پایان می‌رسد. شاید این طلیعه عصر کوانتوم باشد. دره سیلیکون به یک منطقه از کار افتاده تبدیل خواهد شد. روزی ممکن است مجبور شویم بر روی خود اتم‌ها عملیات را انجام دهیم. امروزه رایانه‌ها بر اساس سیستم باینری عمل می‌کنند، به‌این‌ترتیب که هر عددی در این سیستم با صفر و یک نمایش داده می‌شود. اتم‌ها نیز می‌توانند در هر زمان اسپینی به سمت بالا، پایین یا به اطراف داشته باشند. بیت‌های رایانه‌ای (صفرها و یک‌ها) را می‌توان با کیوبیت‌ها (هرچیزی بین صفر و یک) جایگزین کرد، که باعث می‌شود محاسبات کوانتومی بسیار قدرتمندتر از رایانه‌های معمولی گردند.

به‌عنوان مثال، استفاده از یک رایانه کوانتومی، حفاظت بین‌المللی را از اساس متحول خواهد کرد. امروزه، بانک‌های بزرگ، موسسات چند ملیتی، و کشورهای صنعتی، اسرار خود را با الگوریتم‌های رایانه‌ای پیچیده کدگذاری می‌کنند. بسیاری از کدگذاری‌ها با عامل گیری (تجزیه به اعداد اول) از اعداد بزرگ انجام می‌پذیرد. به‌عنوان مثال برای یک رایانه معمولی، عامل گیری از یک عدد صد رقمی مدت زمانی برابر قرن‌ها طول می‌کشد. ولی برای یک رایانه کوانتومی چنین محاسباتی ممکن است کاملاً بدون زحمت انجام پذیرد و بنابراین بتوانند کدهای مختلف جهان را به‌راحتی رمزگشایی کنند

برای مشاهده اینکه یک رایانه کوانتومی چگونه کار می‌کند، فرض کنید دنباله‌ای از اتم‌ها را که در یک میدان مغناطیسی دارای اسپین هم جهتی هستند، درکنار هم می‌چینیم. سپس پرتو لیزری را بر آن‌ها می‌تابانیم. بسیاری از اسپین‌ها با انعکاس لیزر از اتم، تغییر جهت می‌دهند. با اندازه‌گیری نور لیزر بازتابیده، در حقیقت یک عملیات ریاضی پیچیده، یعنی نحوه تفرق نور از اتم به بیرون، را ضبط کرده‌ایم. اگر این فرایند را با استفاده از نظریه کوانتوم

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

محاسبه کنیم، براساس آنچه فاینمن می‌گوید، باید تمام حالات ممکن برای اتم را با هم جمع کنیم. حتی یک محاسبه کوانتومی ساده که کسری از ثانیه طول می‌کشد، انجام آن بر روی یک رایانه معمولی، هرچقدر هم که زمان اختصاص دهیم، تقریباً غیرممکن است.

همان‌طور که دیوید داچ از آکسفورد گفته است، زمانی که ما از رایانه‌های کوانتومی استفاده می‌کنیم، باید تمام جهان‌های موازی ممکن را با هم جمع کنیم. اگرچه نمی‌توانیم با این جهان‌های دیگر مستقیماً ارتباط برقرار کنیم، اما یک رایانه اتمی می‌تواند با استفاده از حالات اسپین موجود در جهان‌های موازی آن‌ها را مورد محاسبه قرار دهد. (با اینکه در اتاق خواب خود با جهان‌های دیگر همدوس نیستیم، اما اتم‌های درون یک رایانه کوانتومی به‌طور همدوس در حال ارتعاش هستند.)

اگرچه رایانه‌های کوانتومی بالقوه حیرت آور هستند، مشکلات‌شان در عمل قابل توجه‌اند. در حال حاضر تعداد اتم‌های به‌کار رفته در رایانه کوانتومی برابر عدد هفت گزارش شده است. در بهترین حالت می‌توان با ضرب کردن عدد سه در پنج در یک رایانه کوانتومی به عدد پانزده رسید. اگر بخواهیم یک رایانه کوانتومی داشته باشیم که بتواند حتی با یک لپ تاپ معمولی رقابت کند، به صدها یا شاید میلیون‌ها اتم نیاز داریم که به صورت همدوس ارتعاش کنند. به‌دلیل اینکه حتی برخورد با تنها یک مولکول هوا می‌تواند اتم‌ها را از همدوسی خارج کند، باید بتوان شرایط فوق‌العاده تمیزی را برای ایزوله کردن اتم‌ها از محیط به‌کار برد. (برای ساختن رایانه کوانتومی که بتواند از سرعت رایانه‌های مدرن پیشی بگیرد، نیاز به هزاران تا میلیون‌ها اتم است و بنابراین محاسبات کوانتومی هنوز چندین دهه از ما فاصله دارند.)

دورفرستی کوانتومی

ممکن است روزی بتوان کاربرد عملی دیگری برای جهان‌های موازی کوانتومی یافت: دورفرستی کوانتومی. «انتقال دهنده»ای که در سریال پیشتازان فضا و دیگر برنامه‌های علمی ـ تخیلی، برای انتقال افراد و تجهیزات

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

در فضا استفاده می‌شود، بیشتر شبیه به روش مرموزی برای کوتاه کردن فواصل زیاد به‌نظر می‌رسد. ولی به‌نظر می‌رسد در عین امیدوارکننده بودن این ایده، یعنی انتقال به دور، با اصل عدم قطعیت در تناقض است. با اعمال فرایند اندازه‌گیری بر روی یک اتم، حالت اتم خراب می‌شود، و بنابراین دیگر نمی‌توان کپی دقیقی از آن ساخت.

اما دانشمندان در سال ۱۹۹۳، از طریق مفهومی به نام وابستگی کوانتومی[1]، موفق به یافتن راه حلی برای این مسئله شدند. این مسئله براساس آزمایش قدیمی که در سال ۱۹۳۵ به‌وسیله اینشتین و همکارانش بوریس پودولسکی و ناتان روزن ترتیب داده شده بود (پارادوکس EPR) بناشده است. هدف از انجام این آزمایش نشان دادن احمقانه بودن نظریه کوانتوم بود. فرض کنید انفجاری رخ می‌دهد و دو الکترون در جهات مخالف و تقریباً نزدیک به سرعت نور، پرتاب می‌شوند. از آنجایی‌که الکترون‌ها می‌توانند دور خود بچرخند یا اسپین داشته باشند، فرض کنید که اسپین آن‌ها به‌هم وابسته باشد. یعنی اگر یکی از الکترون‌ها جهت محور چرخشش به سمت بالا باشد، جهت چرخش الکترون دیگر به سمت پایین خواهد بود. (به‌گونه‌ای که مجموع اسپین‌ها برابر صفر است.) با این حال قبل از اینکه اندازه‌گیری انجام دهیم، نمی‌دانیم که هر یک از الکترون‌ها در چه جهتی در حال چرخش هستند.

حال، سال‌های متمادی صبر کنید. در این زمان الکترون‌ها چندین سال نوری از هم فاصله گرفته‌اند. حال اگر اسپین یکی از الکترون‌ها را اندازه بگیریم، و مشاهده کنیم که اسپین آن به سمت بالاست، سپس فوراً در می‌یابیم که اسپین الکترون دیگر به سمت پایین است (و برعکس). در واقع این حقیقت که یکی از الکترون‌ها اسپینش به سمت بالاست، الکترون دیگر را مجبور می‌کند که اسپینی به سمت پایین اختیار کند. یعنی فوراً می‌توانیم در مورد الکترونی با فاصله چندین سال نوری اطلاع حاصل کنیم. (اینطور به‌نظر می‌رسد که اطلاعات سریع‌تر از سرعت نور منتقل شده‌اند، که در تناقض

1. Quantum entanglement

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

آشکار با نسبیت خاص اینشتین است.) با استفاده از دلایل هوشمندانه، اینشتین موفق شد نشان دهد که با انجام دادن اندازه‌گیری موفقیت‌آمیز بر روی یکی از جفت‌ها، می‌توان اصل عدم قطعیت را زیر سوآل برد. مهم‌تر از این او نشان داد که مکانیک کوانتومی از آنچه که قبلاً تصور می‌شد بسیار عجیب‌تر بود.

تا آن زمان فیزیکدانان عقیده داشتند که جهان مفهومی محلی است و تحولات در یک بخش از جهان، تنها به صورت محلی از منبع خود منتشر می‌شوند. اینشتین نشان داد که مکانیک کوانتومی ضرورتاً غیرمحلی است و تحولات ناشی از یک منبع می‌تواند آناً بخش‌های دوردست جهان را نیز متاثر کند. اینشتین نام آن را «تاثیر شبح وار از فاصله دور» نامید که البته گمان می‌کرد نامعقول و بی‌معنی است. بنابراین اینشتین اندیشید که نظریه کوانتوم باید اشتباه باشد.

(متخصصین مکانیک کوانتومی توانستند پارادوکس اینشتین-پودولسکی-روزن را با این فرض حل کنند که اگر تجهیزات ما تنها به اندازه کافی حساس بودند، واقعاً می‌توانستند جهت چرخش الکترون‌ها را تعیین کنند. وجود ظاهری عدم قطعیت به‌دلیل ناکارآمدی تجهیزات ما و امری تخیلی است. آن‌ها مفهومی را با عنوان متغیر نهانی معرفی کردند، به این معنی که یک نظریه نهانی زیرکوانتومی وجود دارد که در آن هیچ عدم قطعیتی نیست و براساس متغیرهای جدیدی به نام متغیرهای نهانی بنا شده است.)

در سال ۱۹۶۴، زمانی که فیزیکدانی به نام جان بِل، پارادوکس EPR و متغیرهای نهانی را در معرض تست قرار داد، خیلی چیزها آشکار شد. او نشان داد که درآزمایش EPR، وابستگی عددی بین اسپین‌های دو الکترون به‌نظریه مورد استفاده بستگی دارد. اگر نظریه متغیرهای نهانی، همان‌طور که برخی عقیده داشتند درست باشد، اسپین‌ها به یک روش به‌هم وابسته هستند و اگر مکانیک کوانتومی درست باشد، اسپین‌ها به روش دیگری به‌هم وابسته خواهند بود. به بیان دیگر، مکانیک کوانتومی (اساس تمام فیزیک اتمی مدرن)، با استناد به تنها یک آزمایش دچار فراز و نشیب می‌شد.

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

اما آزمایش‌ها به‌طور قطع ثابت کردند که اینشتین اشتباه می‌کرده است. در اوایل دهه ۱۹۸۰، آلن اَسپِکت و همکارانش در فرانسه آزمایش EPR را با استفاده از دو آشکارساز، با فاصله ۱۳ متر از یکدیگر، ترتیب دادند. در این آزمایش اسپین فوتون‌های منتشر شده از اتم‌های کلسیم، مورد اندازه‌گیری قرار می‌گرفت. در سال ۱۹۹۷، آزمایش EPR با کمک آشکارسازهایی، با فاصله ۱۱ کیلومتر، انجام گرفت. در هر دو مورد، نظریه کوانتوم برنده شد. نوع مشخصی از اطلاعات، سریع‌تر از نور حرکت می‌کنند. (اگرچه اینشتین در مورد آزمایش EPR اشتباه می‌کرد، ولی او در مورد مسئله مهم‌تر مخابرات سریع‌تر از نور درست می‌گفت. آزمایش EPR، اگرچه به شما امکان می‌دهد اطلاعاتی را آناً از طرف دیگر کهکشان کسب کنید، ولی به شما امکان نمی‌دهد که از این طریق پیغامی را ارسال کنید. به‌عنوان مثال نمی‌توانید کد مورس را از این طریق بفرستید. در حقیقت یک «فرستنده EPR» تنها سیگنال‌های تصادفی را می‌فرستد، زیرا هر بار که اسپین را اندازه‌گیری می‌کنید، به‌طور تصادفی می‌تواند متفاوت باشد. درست است که آزمایش EPR به شما امکان می‌دهد داده‌هایی را در ارتباط با طرف دیگر کهکشان کسب کنید ولی به شما امکان نمی‌دهد که اطلاعات مفیدی را، که تصادفی نیستند، ارسال کنید.)

بل این اثر را با استفاده از مثالی از یک ریاضیدان به نام بِرتِلزمان توضیح داده است. این ریاضیدان دارای عادت عجیبی بود که بر طبق آن هر روز به صورت تصادفی یک لنگه جوراب آبی و یک لنگه جوراب سبز می‌پوشید. اگر روزی می‌دیدید که لنگه پای چپ او آبی است، با سرعتی سریع‌تر از نور می‌فهمیدید که لنگه دیگر سبز است. اما دانستن این موضوع به این معنی نیست که می‌توانید این اطلاعات را به‌همین روش انتقال دهید. آشکارسازی اطلاعات با ارسال آن تفاوت دارد. آزمایش EPR به این معنی نیست که می‌توانیم اطلاعات را از طریق تله پاتی، سفر سریع‌تر از زمان، یا سفر در زمان مخابره کنیم. غیرممکن است خودمان را از یکتایی جهان جدا کنیم.

به‌این‌ترتیب تصویر متفاوتی از جهان برای ما شکل می‌گیرد. در این

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

تصویر، بین هر اتم از بدن ما و اتم‌هایی که چندین سال نوری با ما فاصله دارند، «وابستگی» کیهانی وجود دارد. از آنجایی‌که تمام مواد، از یک انفجار (همان انفجار بزرگ) ناشی شده‌اند، اتم‌های بدن ما به نوعی با اتم‌های دیگری در طرف دیگر جهان، در نوعی شبکه کوانتومی کیهانی، پیوند دارند. ذرات مقید به هم، به نوعی شبیه به دوقلوهایی هستند که هنوز از طریق بند ناف (تابع موج آن‌ها)، که می‌تواند طولی برابر چندین سال نوری داشته باشد، به‌هم اتصال دارند. اتفاقی که برای یکی از این زوج بیفتد به‌طور خودکار بر روی دیگری نیز اثر می‌گذارد و بنابراین دانش مربوط به یک ذره می‌تواند آناً دانش مربوط به دیگری را آشکار کند. زوج‌های مقید به‌گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار یکی هستند، اگرچه ممکن است از هم فاصله بسیاری گرفته باشند. (می‌توان گفت توابع موج ذرات در انفجار بزرگ زمانی متصل و همدوس بوده‌اند و بنابراین تابع موج آن‌ها ممکن است هنوز هم میلیاردها سال پس از انفجار بزرگ تا اندازه‌ای به‌هم متصل باشند. به‌گونه‌ای که، تحولات در یک بخش از تابع موج می‌تواند بخش دیگری را در فاصله دور تحت تاثیر قرار دهد.)

در سال ۱۹۹۳، دانشمندان با استفاده از مفهوم وابستگی EPR، مکانیزمی را برای دورفرستی کوانتومی ارائه کردند. در سال ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸، دانشمندان کلتک، دانشگاه آرهوس در دانمارک و دانشگاه ولز، اولین نمایش آزمایشگاهی دورفرستی کوانتومی را ارائه کردند. در این آزمایش یک فوتون تنها، در عرض یک میز منتقل گردید. یکی از اعضای این تیم به نام ساموئل براونشتین از دانشگاه ولز، زوج‌های مقید را به عاشقانی تشبیه کرده است که «یکدیگر را آنقدر خوب می‌شناسند که می‌توانند حتی زمانی که از هم دور هستند به سوآلاتی در مورد معشوق خود پاسخ دهند.»

(در آزمایش دورفرستی کوانتومی به سه جسم نیاز داریم: A، B و C. فرض کنید A و B دوقلوهایی هستند که نسبت به‌هم مقیدند. اگرچه ممکن است B و C از هم فاصله گرفته باشند، اما هنوز هم نسبت به‌هم مقیدند. حال فرض کنید که B با A، که جسمی است که باید به دور منتقل شود، برخورد

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

داشته باشد. B، A را بررسی کرده و بنابراین اطلاعات موجود در A به B منتقل می‌شود. آنگاه این اطلاعات به‌طور اتوماتیک به C منتقل می‌شود. بنابراین C به نسخه رونوشت A بدل خواهد شد.)

پیشرفت در دورفرستی کوانتومی، به‌سرعت در حال شکل‌گیری است. دانشمندان دانشگاه ژنو در سویس توانستند از طریق کابل فیبر نوری، فوتون‌ها را در فاصله ۲ کیلومتر، به راه دور منتقل کنند. فوتون‌های نوری (با طول موج ۱/۳ میلی‌متر) در آزمایشگاهی، به فوتون‌های نوری با طول موج (۱/۵۵ میلی‌متر)، به آزمایشگاهی که به‌وسیله یک کابل بلند به‌هم متصل شده بودند، منتقل شدند. نیکولاس گیسین، یکی از فیزیکدانان این پروژه گفته است، «احتمالاً در مدت زمان حیات من، اجرام بزرگتری‌مثل مولکول، به دور منتقل خواهند شد، اما اجرام بزرگ واقعی را نمی‌توان با استفاده از فناوری های قابل تصور، به دور منتقل کرد.»

در سال ۲۰۰۴، زمانی که دانشمندان در انستیتوی ملی استانداردها و فناوری، موفق شدند که نه فقط کوانتومی از نور (فوتون)، بلکه یک اتم کامل را به دور انتقال دهند، پیشرفت مهم دیگری صورت گرفت. آن‌ها موفق شدند سه اتم برلیم را به یکدیگر مقید کرده و به‌این‌ترتیب مشخصات یک اتم را به دیگری منتقل کنند.

کاربردهای عملی دورفرستی کوانتومی، بالقوه عظیم هستند. با این حال نباید از خاطر برد که مشکلات عملی متعددی در مسیر دورفرستی کوانتومی قرار دارد. نخست اینکه جرم اصلی در طول فرایند از بین می‌رود، و بنابراین نمی‌توانید کپی دیگری، از جرم منتقل شده، بسازید. تنها امکان یکبار کپی برداری وجود دارد. دوم اینکه شما نمی‌توانید جرمی را سریع‌تر از نور، به دور منتقل کنید. نسبیت هنوز هم حاکم است؛ حتی برای دورفرستی کوانتومی. (برای دورفرستی جرم A به جرم C، هنوز هم به جرم واسط B نیاز است که آن دو را به‌هم متصل کرده و آهسته‌تر از سرعت نور حرکت می‌کند.) سوم اینکه، شاید مهم‌ترین محدودیت دورفرستی کوانتومی همان مشکلی است که در محاسبات کوانتومی با آن مواجه می‌شویم: اجرام مورد نظر باید

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

همدوس باشند. وجود کوچک‌ترین آلودگی در محیط، دورفرستی کوانتومی را با مشکل مواجه خواهد کرد. اما با وجود همه این‌ها ممکن است که در قرن بیست و یکم شاهد دورفرستی اولین ویروس باشیم.

دورفرستی انسان‌ها ممکن است مشکلات دیگری را نیز برانگیزد. برانشتین می‌گوید: «در این مورد، مسئله کلیدی در حال حاضر مقدار خالص اطلاعات است. چنین انتقالی حتی با کمک بهترین کانال‌های مخابراتی امروزی، بیش از عمر جهان طول می‌کشد.»

تابع موج جهان

اما شاید تحقق نهایی نظریه کوانتوم زمانی رخ دهد که مکانیک کوانتومی را نه فقط بر روی فوتون‌های مستقل، بلکه بر کل جهان اعمال کنیم. استیون هوکینگ به طنز گفته است، هر بار به معمای گربه می‌اندیشم، به‌دنبال اسلحه خود می‌گردم. او راه حل خود را برای این معما ارائه کرده است؛ داشتن تابع موجی برای کل جهان. اگر کل جهان بخشی از تابع موج باشد، آنگاه دیگر نیازی به یک مشاهده‌گر (کسی که باید بیرون از جهان وجود داشته باشد) نخواهد بود.

در نظریه کوانتوم، هر ذره‌ای، با یک موج همراه است. موج نیز به نوبه خود، احتمال یافتن ذره را در هر نقطه نشان می‌دهد. جهان، زمانی که بسیار جوان بوده است، از یک ذره زیراتمی نیز کوچک‌تر بوده است. بنابراین شاید خود جهان نیز تابع موجی داشته باشد. از آنجاکه الکترون می‌تواند به‌طور هم‌زمان در حالات متعددی وجود داشته باشد و از آنجاکه جهان از یک الکترون هم کوچک‌تر بوده است، بنابراین شاید جهان نیز به‌طور هم‌زمان در حالات متعددی وجود داشته است، که از طریق یک آبَر تابع موج تعریف می‌شود.

این شکل دیگری از نظریه جهان‌های متعدد است: به یک ناظر کیهانی، که بتواند کل جهان را به یکباره مشاهده کند، نیازی نیست. اما تابع موج هوکینگ کاملاً با تابع موج شرودینگر متفاوت است. در تابع موج شرودینگر، در هر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

نقطه در فضا ـ زمان، یک تابع موج وجود دارد. در تابع موج هوکینگ، برای هر جهان یک موج وجود دارد. به‌جای تابع *psi* شرودینگر، که تمام حالات ممکن الکترون را توصیف می‌کند، هوکینگ تابع *psi*ای را معرفی می‌کند که بیانگر تمام حالات ممکن جهان است. در مکانیک کوانتومی معمولی، الکترون در فضای معمولی وجود دارد. با این حال در تابع موج جهان، تابع موج در «اَبَر فضا» وجود دارد؛ فضای تمام جهان‌های ممکن که ویلر معرفی کرده است.

این تابع موج اصلی (مادر تمام توابع موج)، از معادلات شرودینگر (که فقط برای الکترون تنها صادق است) تبعیت نمی‌کند، بلکه از معادلات ویلر ـ دِویت پیروی می‌کند، که برای تمام جهان‌های محتمل صادق است. در اوایل دهه ۱۹۹۰، هوکینگ نوشت که قادر است تا اندازه‌ای تابع موج خود را از جهان، حل کرده و نشان دهد که محتمل‌ترین جهان، جهانی است که دارای یک ثابت کیهانی نزدیک به صفر باشد. این مقاله، به‌دلیل اینکه وابسته به حاصل جمع تمام جهان‌های محتمل بود، بحث انگیز شد. هوکینگ، کرمچاله‌هایی که جهان ما را به تمام جهان‌های محتمل دیگر متصل می‌کنند را نیز در این حاصل جمع، منظور کرد. (دریای بی‌نهایتی از حباب‌های صابون شناور در هوا را در نظر بگیرید که همه آن‌ها از طریق رشته‌های باریکی یا همان کرمچاله‌ها به‌هم متصل هستند، سپس همه را با هم جمع کنید.)

سرانجام تردیدهایی در مورد روش بلندپروازانه هوکینگ به‌وجود آمد. مشخص شد که حاصل جمع تمام جهان‌های محتمل از نظر ریاضی نامعتبر و غیرقابل اطمینان است؛ حداقل تا زمانی که «نظریه همه چیز» برای به پیش راندن ما، وجود داشته باشد. منتقدان عقیده داشتند قبل از اینکه نظریه همه چیز ساخته شود، نمی‌توان در واقع به هیچ یک از محاسبات مربوط به ماشین زمان، کرمچاله‌ها، لحظه انفجار بزرگ و توابع موج جهان، اعتماد کرد.

به‌هرحال امروزه، تعداد زیادی از فیزیکدانان عقیده دارند بالاخره توانسته‌ایم نظریه همه چیز، یا همان نظریه M را بیابیم. آیا این نظریه همان‌طور که اینشتین عقیده داشت به ما این امکان را می‌دهد که «ذهن خدا را بخوانیم»؟

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly

فصل ۷ نظریه M مادر تمام ریسمان‌ها

از نظر کسی که بتواند از یک دیدگاه یکپارچه، مفهوم جهان را درک کند، کل آفرینش به صورت یک حقیقت و ضرورت منحصر به‌فرد به‌نظر می‌رسد.

ـ ژان لورون دالامبر

احساس می‌کنم چنان به نظریه ریسمان‌ها نزدیک شده‌ایم که شکل نهایی نظریه روزی از آسمان جلوی پای یک نفر بیفتد. اما اگر واقع بینانه‌تر بگویم، احساسم بر این است که هم‌اکنون در طول فرایند شکل دادن به نظریه‌ای بسیار عمیق‌تر از هر آنچه تاکنون داشته‌ایم، قرار داریم و با پیشروی در قرن بیست و یکم، زمانی که من آنقدر پیر هستم که دیگر نمی‌توانم ایده مفیدی را در این زمینه ارائه کنم، این فیزیکدانان جوان‌تر هستند که تصمیم می‌گیرند، آیا واقعاً نظریه نهایی را یافته‌اند یا نه.

ـ ادوارد ویتن

رمان کلاسیک مرد نامرئی، نوشته اِچ جی وِلز، در سال ۱۸۹۷، با داستان عجیبی آغاز می‌شود. در یک روز سرد زمستانی، غریبه‌ای با لباس‌هایی عجیب از درون تاریکی بیرون می‌آید. صورتش کاملاً پوشیده شده است. عینک آبی تیره‌ای به چشم داشته و باندهای سفید رنگ کل صورتش را پوشانده‌اند.

در ابتدا روستائیان، با تصور اینکه تصادف وحشتناکی را پشت سر

@caffeinebookly caffeinebookly @caffeinebookly caffeinebookly t.me/caffeinebookly